Neurophysiologische

FORSCHUNGEN.

Von

Dr. E. HARLESS,
Professor in München.



(Extra-Abdruck aus der Monatsschrift des wissenschaftlichen Vereins in Zürich.)

ZÜRICH,
VERLAG VON MEYER & ZELLER.
1860.

Vor wenigen Decennien hatte man noch keine Ahnung davon, dass man das mysteriöse Gebiet der Nententhätigkeit mit Messinstrumenten betreten könne, um die dichten Nebelmassen zu durchdringen, welche als vage Vermuthungen, von dem gleissnerischen Licht naturphilosophischer Erklärungsversuche beleuchtet, über ihm lagen. J. Müller wagte zuerst von einer „Physik der Nerven“ zu sprechen und seinem Impuls ist der Muth und die erfolgreiche Ausdauer zu danken, welche von jener Zeit an viele Forscher an die Lösung der grossen Aufgabe setzten.

Immer noch steht sie uns als ein höchst verwickeltes Problem gegenüber, und Keiner mag sich rühmen mehr als das eine oder andere Bruchstück davon dem Verständniss näher gelegt zu haben.

Der Gang der Naturforschung im Ganzen und Grossen hat gezeigt, dass sich für den Blick die Verhältnisse um so einfacher gestalten, je tiefer er in die Erscheinungen der natürlichen Vorgänge eindrang. Die Verwicklungen, welche gegenwärtig noch die Thätigkeit der Nerven der Forschung darbietet, lassen erkennen, dass wir von dem letzten Ziel noch weit entfernt sind.

Nachdem ich mich eine Reihe von Jahren fast ausschliesslich mit einigen speziellen Aufgaben der Nervenphysiologie beschäftigt habe, will ich versuchen, die dabei gewonnenen Resultate in möglichst einfacher Gestalt den Lesern vorzuführen. Ich muss voraussetzen, dass nicht alle von ihnen so weit in die anatomischen Details und in die physiologische Terminologie eingeweiht sind, um sogleich in medias res einzutreten. Man gestatte mir daher zuerst den Schauplatz und die Hülfsmittel der Forschung mit flüchtigen Zügen zu skizziren.

Alle Geschöpfe, welche nach dem gemeinsamen Typus der Wirbelthiere organisirt sind, besitzen ein complicirtes Gefüge von mikroskopischen Gebilden, durch welche die willkührlichen Bewegungen

und das, was wir Empfindung nennen, vermittelt wird, und ohne welches die Aeusserungen geistiger Thätigkeit unmöglich sind. Dieses Gefüge nennen wir Nervensystem, und finden es als Gehirn und Rückenmark in knöchernen Gehäusen, Schädel und Wirbelcanal, eingeschlossen, als Nervenstränge von dort aus sich verzweigend und auf mannigfaltigen Wegen zu den verschiedensten Körpergegenden hingeführt.

Die Elemente dieses Systems sind theils amorphe körnige Massen, theils aus Zellen geformte Gebilde und endlich Fasern, selbst wieder aus chemisch verschiedenen Substanzen zusammengesetzt. Anatomisch von einander getrennte Parthien haben ihre besondere Benennung gefunden, hängen aber unter einander erwiesener Maassen wenigstens functionell zusammen. Nicht in jedem Abschnitt des in solcher Gestalt vereinigten Systems finden sich alle oben bezeichneten Elemente. Zu Gruppen drängen sich da Körnerhaufen und Zellenmassen zusammen; dort sind es dichtgedrängte Faserzüge, welche sich mit jenen sichtbar vereinigen oder zwischen ihnen hinziehen. Die Spuren veralteter Anschauung von dem Verlauf der einzelnen Fasern finden sich in den Bezeichnungen des centralen und peripherischen Nervensystems erhalten. Man dachte sich, jede Faser bilde eine in sich geschlossene Schleife, deren Schenkel einerseits im Gehirn, andererseits an irgend einer davon entfernteren Körperstelle zusammenstiessen. Den ersten Vereinigungspunkt nannte man den centralen, den andern den peripherischen, und die ganze Bahn jenseits des Gehirns und Rückenmarks die peripherische. Als man den Begriff eines Centralorganes mehr physiologisch auffasste, bezeichnete man damit allgemein den Ort, an welchem die verschiedenen Nervenelemente in eine functionelle Wechselwirkung mit einander treten. Da man sah, dass diess nur da stattfindet, wo Fasern und Nervenzellen gleichzeitig aufgefunden werden, so konnte man die Centralorgane nicht mehr ausschliesslich in Wirbelcanal und Schädel eingeschlossen denken, weil man gefunden hatte, dass auch jenseits dieser Hohlräume an den verschiedenen Körperstellen solche Verknüpfungen von Nervenzellen und Fasern anzutreffen sind. Das sogenannte Gangliensystem, wie es in den grossen Höhlen des Rumpfes und längs des Halses gefunden wird, besteht aus diesen Elementen und hängt aufs Vielfältigste mit Gehirn und Rückenmark zusammen. Die Ausbreitung des Sehnerven im Augapfel, des Gehörnerven im Ohr kann der ganzen Anordnung nach, sowie unter Berücksichtigung ihrer Entwicklung nur als ein Vorposten des Gehirnes mit den Functionen eines Centralorganes aufgefasst werden.

Die Vermittlung von Empfindung, Bewegung und chemischen Processen, das sind die allgemeinsten Functionen, welche wir den Centralorganen zuschreiben; und es lässt sich mit Sicherheit vermuthen, dass die Gruppen, welche der einen oder andern Function vorstehen, durch andere unter einander in Wechselwirkung gesetzt sind. Die Wirkung eines Centralorganes oder die Wirkung irgend eines äussern Impulses von einer entfernteren Körperstelle aus auf das Centralorgan wird durch die Continuität der Nervenfasern vermittelt, welche sich in das Centralorgan einsenken und jenseits desselben verbreiten.

Eine bald grössere, bald geringere Anzahl solcher Fasern von einer Scheide umschlossen, bildet die dem freien Auge sichtbare Nervensubstanz unserer anatomischen Präparate. Diese Nerven durch ihre Wurzeln in direktem Zusammenhang mit Rückenmark oder Gehirn, verzweigen sich, verbinden sich stellenweise wieder mit benachbarten, um sogenannte Anastomosen zu bilden; allein alles diess geschieht mit Wahrung des isolirten Verlaufes der einzelnen Faser. Diese theilt sich weder, noch verschmilzt sie mit einer anderen längs der ganzen Strecke des Nervenstammes. Erst wenn sie an dem ihr zugehörigen Bezirk angelangt ist, finden sich wenigstens in einigen Organen gabelförmige Theilungen. Die Verästlungen und netzförmigen Verbindungen, welche da und dort an den Nervenzweigen angetroffen werden, hat man sich als conforme Bildungen der hohlen Nervenscheide zu denken, in deren Canälen den einzelnen nicht getheilten Fasern ihr Verlauf angewiesen wird.

Innerhalb dieser Scheiden können gleichzeitig functionell ganz verschiedene Nervenfasern eingeschlossen zu ihren schliesslichen Bestimmungsorten hinziehen, und man nennt sie dann gemischte Nervenstämme. Eine geringere Anzahl enthält nur Fasern von gleichwerthiger Function. Am sichersten lassen sich die Wege der empfindenden und Muskeln bewegenden Fasern vor ihrem Eintritt in das Rückenmark auseinanderhalten; denn dort trennen sie sich so, dass von jedem gemischten Nervenstamm die eine Classe von Fasern in einem besondern Bündel zusammengefasst als sogenannte vordere Wurzel, die andere Classe in ähnlicher Weise als hintere Wurzel in das Rückenmark eindringt. Durch die in den vordern Wurzeln enthaltenen Fasern wird die Bewegung der Muskeln vermittelt, durch die Fasern in den andern die Empfindung. So entsteht der Begriff der motorischen und sensitiven Wurzeln.

Jede einzelne Faser, „Primitivfaser“ genannt, stellt selbst wieder

ein complicirtes Gebilde dar, welches nicht an allen Orten die gleiche Summe der histologisch zu trennenden Elemente enthält. Ein centrales Gebilde, über dessen Natur gegenwärtig noch differente Ansichten herrschen, wird mit dem Namen Axencylinder belegt. So wie wir es isolirt darstellen können, erscheint es als ein glasheller, ziemlich resistenter, elastischer, etwas plattgedrückter Faden. Manche Forscher bezweifeln noch, dass er als solcher im Innern der Faser existire und halten ihn für ein Kunstprodukt durch Gerinnung aus einer an sich flüssigen Masse entstanden, welche den Innenraum der hohlen Faser erfüllt. Wie dem nun sei: um ihn herum ist eine zähe, aus viel Fett und aus Eiweiss gemischte Masse gelagert, welche den Namen Markscheide führt. Die Vereinigung dieser chemischen Bestandtheile ist aber im Leben eine viel innigere, als diess etwa bei einer blossen Emulsion der Fall ist. Es erscheint das Ganze als ein glashelles Rohr, etwa wie eine Glasröhre mit dicken Wandungen und mit einem stark lichtbrechenden Vermögen. Dieser Bestandtheil fehlt sowohl an den letzten peripherischen Endigungen in den meisten Organen, als auch an den Stellen, an welchen die Faser mit den centralen Nervenzellen in Verbindung tritt.

Um dieses Markrohr ist eine äusserst dünnwandige Hülle, „die Nervenscheide“ gelegt, welche aber nicht mit der äussern Nervenscheide oder dem „Neurilem“ zu verwechseln ist. Diese fasst eine grössere oder kleinere Menge von Fasern zu Bündeln und Bündelmassen zusammen, und bildet, wie oben erwähnt, die verzweigten Canäle, in welchen Fasern und Faserbündel hinziehen. Zugleich bildet sie das stützende Gewebe für die vielfachen Blutgefässe, welche in ihr eingebettet den Nervenfasern die ihnen nöthige und stets zu erneuernde Ernährungsflüssigkeit zuführen.

Diese anatomische Skizze reicht zum Verständniss des Späteren im Allgemeinen hin.

Nun sind einige physiologische Begriffe vorauszuschicken. Einerseits sind die Centralorgane als Apparate anzusehen, in welchen durch gegenseitige Wechselwirkung und durch Einflüsse, welche ihnen von aussen zugeführt werden, so wie durch chemische von der Ernährung abhängige Vorgänge, theils nur dem Subject wahrnehmbare, theils nach aussen hervortretende Wirkungen erzeugt werden. Davon wie das Erstere geschieht, wodurch es möglich gemacht ist, dass uns der Zustandswechsel unseres Gehirnes bewusst werde, haben wir keine Ahnung. Die Erregung der Centralorgane von aussen her, sowie die

Rückwirkung derselben nach aussen geschieht auf dem Weg der Nervenfasern. Längs ihrer Bahnen muss ein Impuls sich nach der einen oder andern, oder beiden Seiten hin fortpflanzen, und man nennt diess die „Leitung“. Für sie gilt als oberster Grundsatz, dass sie innerhalb der Bahn je einer Faser isolirt fortschreite, dass sich also jenseits der Centralorgane kein in der einen Faser erregter Process, welchen man schlechthin die Innervation nennt, auf eine benachbarte übertrage. Man verglich jede einzelne solche Faser mit einem isolirten Leitungsdraht unserer galvanischen Apparate.

Die Wirkung nach aussen lässt sich bei Experimenten an Thieren allein ausbeuten, und vor Allem die jeder Einmischung des Willens entzogene, durch die Anordnung des Versuches allein erzwungene Muskelverkürzung; der Zusammenhang des Nerven mit dem Centralorgan, die Strömung des Blutes in den Gefässen des Nerven und des Muskels, die individuellen allgemeinen Zustände des Gesammtorganismus bestimmen wesentlich die Wirkung irgend eines Impulses, welcher den Nerv trifft, und welchen man „Reiz“ nennt. Wenn unsere Versuche an Nerven gemacht werden, welche getrennt vom Centralorgan und herausgerissen aus dem übrigen Connex der Bedingungen untersucht werden, die auf ihre Leistnng und Leistungsfähigkeit innerhalb des unversehrten Organismus wirken, so werden ihre Resultate nur mit Vorsicht und unter der Controlle der am lebenden Thier anzustellenden Beobachtungen auf die Erscheinungen des Lebenden angewendet werden dürfen.

Wenn ferner zu den Versuchen Wirbelthiere niederer Ordnung verwendet werden, wie diess in der Mehrzahl der Fälle nicht zu vermeiden ist, so können nur die allgemeinsten Schlussfolgerungen daraus auf höher stehende Thiere und die menschliche Organisation gemacht werden und zwar nnr dann, wenn die Versuche auf die bei allen wesentlich integrirenden Bestandtheile der Nerven oder auf ihre erwiesener Massen gleiche Function gerichtet sind. Nie aber darf die Controlle direkter Beobachtung auch dabei fehlen.

Meine eigenen Versuche sind fast alle an dem isolirten Schenkelnerven des Frosches gemacht; doch sind die wichtigsten Resultate, ehe ihre Allgemeingültigkeit angenommen wurde, auch an dem lebenden Thier geprüft worden; für den Rückschluss auf die Verhältnisse bei dem Menschen sind nur solche Thatsachen benützt worden, deren Analogie sich aus der Natur des untersuchten Objectes unfehlbar voraussetzen liess.

Am leichtesten hoffe ich den Leser in diese Untersuchungen einführen zu können, wenn ich den ersten Entwurf und Ausgangspunkt derselben schildere und ihn so auf den Standpunkt versetze, von welchem aus ich selbst mehr und mehr auf dem Gebiet der Messung bestimmter Reize und ihrer Wirkungen weiter geführt worden bin.

Ich begann meine Untersuchungen im Herbst 1855. Quantitative Bestimmungen an den Nerven waren zu jener Zeit nur von Helmholtz gemacht worden, welche die Geschwindigkeit ermittelten, mit der sich die an einem Punkt des Nerven hervorgerufene Erregung längs dessen Bahn fortpflanzt. Du Bois-Reymond hatte, so weit diess ein nicht graduirter Multiplicator zulässt, die Intensitäten der von dem Nerv abzuleitenden elektrischen Ströme in seinen verschiedenen Zuständen erforscht. In Beziehung auf den galvanischen Grundversuch hatten wir bis dahin keine Methode zur Bestimmung der quantitativen Verhältnisse, welche dabei ins Spiel treten. Man hatte sich begnügt, Stärke und Schwäche des angewendeten Stromes, Stärke und Schwäche der Zuckung, welche der Muskel zeigt, wenn sein Nerv gereizt wird, approximativ zu schätzen.

Du Bois' oberster Grundsatz für die elektrische Strömung lautet: „Nicht von dem absoluten Werth der Stromdichte ist der physiologische Effekt abhängig, sondern von der Geschwindigkeit ihres Wechsels von einem Moment zum andern.“ Das war der Ausgangspunkt auch für meine grosse Versuchsreihe. Eine Maassbestimmung der Reizbarkeit verlangt die Kenntniss der Quantität des Reizes und der Quantität des bewirkten Effektes. Ich habe hier nur noch daran zu erinnern, was man unter Stromdichte versteht. An der Berührungsstelle einer galvanischen Combination, also beispielsweise zweier heterogener Metalle entwickelt sich die Elektricität, welche man sich unter dem Bild eines strömenden Fluidums vorstellt, wenn ein galvanisches Element, wie etwa ein Grove'scher oder Bunsen'scher Becher zur Kette geschlossen ist, d. h. wenn seine beiden Metalle unter sich durch einen elektrischen Leiter verbunden sind. Die Metalle bilden die Pole und von jedem fliesst durch den Leiter und durch die Flüssigkeit des Bechers zum andern ein Strom. Man spricht aber in der Regel nur von dem einen, nehmlich von dem, welcher vom positiven Pol ausgeht und benennt nach ihm die Richtung des Stromes. An der Contactstelle der elektrischen Erreger wird fort und fort eine bestimmte Quantität elektrischen Fluidums frei und entsprechend der Natur der heterogenen Körper, d. h. entsprechend ihrer gegenseitigen

Entfernung, in welcher sie in der sogenannten Spannungsreihe stehen, wird dieses Fluidum mit einer bestimmten Kraft dem andern Pol zugetrieben. Dieser Kraft, welche dem Druck einer Wassersäule von bestimmter Höhe verglichen werden kann, arbeiten an allen Stellen des in sich geschlossenen Kreises der Strombahn die Widerstände entgegen, welche aus den Dimensionen und den inneren Beschaffenheiten der Strombahn entspringen. Das Resultat dieser gegen einander wirkenden Kräfte bestimmt das Mass der „Stromstärke." Jene Triebkraft nennen wir die elektromotorische Kraft, und die Widerstände theilt man in diejenigen, welche sich innerhalb der galvanischen Kette, also im Becher, geltend machen, und in die, welche auf der Bahn des übrigen Schliessungsbogens ausserhalb des Bechers herrschen. Die Stromstärke lässt sich also immer durch das Verhältniss von elektromotorischer Kraft zu der Summe der ihr entgegengestellten Widerstände ausdrücken.

Weiter hat man sich vorzustellen, dass auf der ganzen Strombahn in jedem einzelnen Augenblick die gleiche Quantität Electricität durch jeden ihrer Querschnitte strömt. Demgemäss ist dieses Fluidum mehr zusammengedrängt, wo die Bahn eng, der Querschnitt also klein ist, weniger dagegen, wo das Umgekehrte stattfindet. Daraus ergibt sich der Begriff der „Stromdichte." Es leuchtet ein, dass dieselbe wieder von dem Verhältniss zweier Grössen zu einander abhängig sein muss, nehmlich von dem Verhältniss der Stromstärke zu dem Querschnitt an dem Ort des ganzen Schliessungsbogens, für welchen man die Stromdichte kennen will. Alle diese Grössen lassen sich in jedem einzelnen Fall ohne grosse Schwierigkeit ermitteln und auf eine bestimmte Einheit reduciren.

Doch ist mit alledem noch kein Maassstab für die Grösse des Reizes gewonnen, welcher den Nerv trifft. Denn jenem obersten Grundsatze zufolge, welcher vorhin namhaft gemacht wurde, ist nicht das absolute Maass der Stromdichte maassgebend, sondern die Geschwindigkeit, mit welcher deren Werth in der Zeiteinheit wechselt. Lässt man also sehr schnell jene Grösse anwachsen und wieder sinken, so reicht zu dem gleichen physiologischen Effekt schon eine unbedeutende Höhe aus, während bei langsamen Anwachsen eine viel beträchtlichere Höhe verlangt wird. Ein einfacher Versuch hat diess schon längst erwiesen. Wenn man an den einen Pol einer sehr vielgliedrigen Volta'schen Säule die eine Hand anlegt, die zweite mit einer zweizinkigen metallnen Gabel bewaffnet und damit von einer Platte zur andern

allmählich gleichsam hinaufklettert, so dass man, bis man am zweiten Pol der Säule angekommen ist, niemals die Berührung der Säule ganz aufgehoben hat, so empfindet man keinen Schlag, obwohl jetzt ein sehr starker Strom durch den Körper kreist. Entfernt man aber jetzt die eine oder andere Hand von der Säule, so erhält man einen heftigen Schlag bei der plötzlichen Unterbrechung des Stromes, welchem man aber ebenso gut ausweichen kann, wenn man mittelst der metallenen Gabel von einem Pol zum andern klettert. Man nennt diese Manipulation „das Einschleichen oder Herausschleichen aus dem Kreis des galvanischen Stroms."

Eine Maassbestimmung des Reizes verlangt also die Kenntniss der Geschwindigkeit, mit welcher die Stromdichte innerhalb eines bekannten Spielraumes schwankt.

Von vornherein haben mir zwei Arten der Reizbarkeit als Aufgaben vorgeschwebt, von welchen jedoch die eine viel schwieriger, vorläufig vielleicht noch gar nicht zu lösen ist. Die eine Aufgabe besteht in der Ermittlung der relativen Werthe der Reizbarkeit, also da ihre Unterschiede aufzufinden, wenn ein und derselbe Nerv von einem Zustand in den anderen übergeführt worden. Die zweite Aufgabe bestünde darin, das absolute Maass der Reizbarkeit in irgend welchem Moment zu ermitteln, und in Vergleich zu einer bestimmten Einheit zu setzen, mit welcher die verschiedensten anderen Naturerscheinungen gemessen werden können. Diese Aufgabe verlangte, dass man erstens prüfe, mit welchen Maassen die auf den gleichen Erfolg influirenden Grössen für einander gesetzt werden können; wie weit also Verminderung der Stromstärke durch Einschaltung von grösseren Mengen wirksamer Nervenmasse ersetzt werden könne; wie weit sich die Verminderung der Stromdichte durch Geschwindigkeit der Stromschwankung, Aenderung des Nerven-Querschnittes durch bestimmte Stromstärken und Unterbrechungsgeschwindigkeiten etc. compensiren lasse. Kann diese Aufgabe gelöst werden, so dass man also jede dieser einzelnen Grössen in Aequivalenten einer zweiten ausdrücken und damit alle auf einander reduciren kann, so wird man schliesslich auch im Stande sein, die Grösse des Reizes nach absolutem Maass zu bestimmen; und darin bestünde der letzte Theil der zweiten Aufgabe.

Meine bisherigen Bemühungen waren zum grössten Theil der ersten Aufgabe zugewendet. In Beziehung auf die zweite habe ich nur den einen und anderen Punkt vorläufig ins Auge gefasst, um mich zu orientiren, ob mit unseren gegenwärtigen Hülfsmitteln überhaupt eine

Aussicht auf deren Lösung vorhanden sei, oder ob erst neue Bahnen hiezu gebrochen werden müssen.

Die Grundbedingung für die Lösung der ersten Aufgabe war die Garantie für das ceteris paribus; ohne Erfüllung dieser Bedingung konnte auf keine Vergleichung auch nur zweier Versuche mit einander, also auch auf keine Bestimmung der relativen Unterschiede gerechnet werden. Alle vorkommenden Unterschiede müssen entweder durch die Anordnung des Versuches aufgehoben, oder wo das nicht möglich war, durch die Rechnung eliminirt werden.

Auf dem ersteren Weg war erstens eine Gleichartigkeit in der elektromotorischen Kraft und den Widerständen innerhalb des galvanischen Bechers herzustellen, zweitens eine vollkommene Gleichmässigkeit in der Form der Schliessung und Unterbrechung des Kettenstromes, drittens eine Gleichartigkeit in dem jedesmal erzielten physiologischen Effekt. Was theoretisch überlegt war, bedurfte aber Monate langen Prüfens durch Experimente, bis die praktische Zulässigkeit und die Grenzen der unvermeidlichen Fehler festgestellt waren.

Als allein brauchbar von allen unsern verschiedenen Ketten erwiesen sich die Grove'schen Becher mit vollkommener Amalgamirung des Zinks und Füllung mit concentrirten Säuren. Zur Unterbrechung des Stroms konnte allein ein Uhrwerk benützt werden, durch dessen Pendelschwung ein amalgamirter Kupferbügel regelmässig in Quecksilber aus- und eingetaucht wurde.

Als physiologischer Effekt, welcher jederzeit zu leisten verlangt wurde, ist der Minimalwerth der Muskelzuckung gewählt worden, welcher isochron mit der einen oder andern Schwingung, also mit Schliessen oder Oeffnen der Kette erfolgte. Diese Zuckung wurde entweder mit dem blossen Auge beobachtet, oder es war der Muskel (Gastrocnemius) mit einem hundertfach den Ausschlag vergrössernden Fühlhebel in Verbindung gesetzt und dessen geringste Bewegung als Maasstab gewählt.

Um diesen verlangten Effekt bei jedem einzelnen Versuch herbeizuführen, musste man messbar die Stromstärke variiren können. Hier handelte es sich wegen der ausserordentlich grossen Empfindlichkeit der Nerven für galvanische Ströme um eine sehr beträchtliche Abschwächung derselben. Man hatte vor mir diess schon durch eingeschaltete nasse Fäden oder in Glasröhren eingeschlossene Flüssigkeitssäulen zu erreichen gesucht und durch Verlängerung oder Verkürzung derselben die geforderte Abschwächung hergestellt. Aber

diese Hülfsmittel waren vor mir nicht zu quantitativen Versuchen benützt, nicht zu wirklichen Messinstrumenten gemacht worden. Diess konnte nur dadurch ermöglicht werden, dass man durch vielfache Versuche die nothwendigen für die meisten Versuche ausreichenden Dimensionen der Röhre ermittelte, und vollkommene Sicherheit vor allen Seitenströmen gewährte, so dass die eingeschaltete Flüssigkeitssäule direkt zu der Messung benützt werden konnte. Die Länge dieser Säule wurde dadurch regulirt, dass man dem metallnen Boden derselben von oben einen gefirnissten, nur am untersten Ende blanken Kupferdraht beliebig nähern oder von ihm bis auf $4^1/_2$ Meter entfernen konnte. Da es sich hier nur um die Darlegung der Prinzipien der Methode und der damit gewonnenen Resultate handelt, unterlasse ich jede weitere genauere Beschreibung des Apparates, welchen ich fortan mit dem Namen „feuchter Rheostat" kurzweg bezeichnen will.

Man könnte zu demselben Ziele gelangen, wenn man den Strom der Kette unmittelbar durch den Nerv gehen liesse, und eine kurze, aber messbar zu verlängernde Nebenschliessung anbrächte. Diess Verfahren ist aber mit zwei Uebelständen behaftet. Erstens leidet unter der kurzen Nebenschliessung die Constanz der Kette in sehr hohem Grad, zweitens bekommt man ohne weitläufige Rechnung die Stromstärken nicht zur Vergleichung. Die Fehler dagegen, welche von dem feuchten Rheostaten aus der Polarisation entspringen, lassen sich meist ganz vermeiden, oder durch wenige Controllversuche eliminiren.

Dieses, mein Verfahren die Reizbarkeit der Nerven zu messen, unterscheidet sich von dem später von Pflüger angewendeten dadurch, dass ich die für den gleichen Effekt nothwendige Stromstärke aufsuche, Pflüger die Stromstärke gleich lässt und die Differenz des Effektes an der Grösse der Muskelverkürzung misst.

Beide Methoden ergänzen sich gegenseitig. Direkte Versuche haben mich davon überzeugt, dass meine Methode eine vielmal grössere Genauigkeit zulässt und die zeitraubenden Messungen der von den Muskeln selbst aufgezeichneten Curven erspart. Diese graphische Methode setzt voraus, dass wenigstens sehr nahezu die Grösse der Muskelverkürzung proportional der Nervenerregung sei, wofür wir keine direkten Beweise haben, während meine Methode davon Umgang nimmt und die Auslösung der Muskelkräfte durch die Thätigkeit des Nerven allein ins Auge fasst. Ich gebe zu, dass überhaupt jede Methode, welche an die Muskelthätigkeit als Index der Nervenreizung appellirt, mit grösseren Fehlern behaftet ist, als eine solche, welche die Zustände

des Nerven an diesem selbst messen liesse; allein eine solche ist vorläufig noch nicht möglich, und eben desshalb halte ich es für mehr gerathen, die Grenzen der äusseren Reize aufzusuchen, welchen die Kräfte im unbewegten Muskel gerade noch die Waage halten. Um diesen Punkt sicherer zu bestimmen, habe ich das Mittel aus dem Rheostatenstand genommen, bei welchem eben die ersten Zuckungen isochron mit dem Gang des Uhrwerkes auftreten und dem, bei welchem gerade noch jede Zuckung sistirt ist.

Beide Methoden können nur unter Beobachtung sehr vieler Cautelen in Anwendung gebracht werden und stets wird es eine längere Uebung verlangen, um die eine oder andere mit Sicherheit handhaben zu können.

Vor allem muss man sich einige Vorstellung von der geringen Stromstärke machen, welche man zu den meisten Reizversuchen bei der Geschwindigkeit der Stromschwankung nothwendig hat, welche in allen Versuchen constant erhalten wurde. Diess setzt voraus, dass man einen Begriff von den grossen Unterschieden hat, welche die Widerstände metallischer Leiter und Flüssigkeiten darbieten.

Denken wir uns als Einheit den Widerstand eines Kupferdrahtes von 4 Meter Länge und ein Quadrat-Millimeter Querschnitt, so ist der von concentrirter Kupfervitriollösung zum zweifachen Volum mit Wasser verdünnt und zu einem Faden von gleichen Dimensionen wie jener Kupferdraht ausgezogen 25938000 mal grösser. Man sieht hiernach leicht ein, wie man den Widerstand einer Flüssigkeitssäule von beliebigem Querschnitt auf die Widerstände in einem Kupferdraht von 1 □ Millimeter Querschnitt und bestimmter Länge reduciren kann, wenn man weiss, dass sich die Widerstände direkt verhalten wie die Längen, und umgekehrt wie die Querschnitte der Leiter, und wenn man durch Versuche für die fraglichen Flüssigkeiten bei bestimmten Temperaturen die Zahlen ermittelt hat, welche beispielsweise für obige Kupfervitriollösung angeführt wurden. In dem von mir gebrauchten Rheostat entsprach 1 Centimeter Höhe der Flüssigkeitssäule bei Wasser von 15 ^{0} R. 7129568 Meter Kupferdraht von 1 □ Millimeter Querschnitt; bei 1 Thl. concentrirter Kupfervitriollösung auf 1000 Massen 6028522; bei 1 Theil derselben Salzlösung auf 500 Massen 2210680 u. s. w. Bei den meisten Reizversuchen an frischen Präparaten hatte man beiläufig 40—50 Centimeter der Wassersäule einzuschalten, also circa 320 Millionen Meter Kupferdraht. Es gibt aber Zustände des Nerven, in welchen die Widerstände so gesteigert werden müssen, dass

sie dem eines Kupferdrahtes von einer Länge gleichkämen, welcher 30 bis 40 mal die des Erd-Aequators überträfe. Diese unter allen Umständen so erheblichen Widerstände unterstützen die Methode der Messung sehr wesentlich, indem dadurch mehrere Grössen, deren absolute Werthe und Schwankungen ausserdem beträchtliche Fehlerquellen abgeben würden, verschwindend klein und desshalb unschädlich sich gestalten.

Die Widerstände in der Kette gehören hieher, und der daraus entspringende Vortheil ist, dass man auf die Gleichheit in dem Concentrationsgrade der Säuren nur sehr wenig Rücksicht zu nehmen hat. Denn jene könnten in hohem Grade schwanken, ohne dass dadurch am Effekt etwas geändert würde, weil ihr Maximum höchstens 30—40 Meter Normaldraht entspricht.

Der zweite Vortheil jener grossen Widerstände liegt darin, dass die Geschwindigkeit des Pendelschwunges nicht absolut gleichmässig zu sein braucht. Hätte man nur eine kurze metallische Schliessung, so würde es einen grossen Unterschied machen, ob die Spitzen des Kupferbügels rascher oder langsamer in Quecksilber untertauchen; denn damit ändert sich die Schnelligkeit, mit welcher die Metalltheile zu der schliesslichen vollkommensten Berührung kommen, damit also auch die Geschwindigkeit, mit welcher die Leitung vollkommen hergestellt wird, und also auch die auf den physiologischen Effekt so einflussreiche Schnelligkeit, mit welcher die Stromstärke ihr Maximum erreicht. Da, wo die Widerstände aber so enorm sind, wie in unseren Versuchen, ist die erste und leiseste Berührung von Kupferbügel und Quecksilber schon ausreichend, die Leitung an dieser Stelle unendlich mal besser zu machen als an irgend einem andern Punkt des Schliessungsbogens. Wächst nun auch noch die Innigkeit der Berührung und damit die Güte der Leitung am ersteren Ort, so verschwinden diese Unterschiede und dadurch auch die Unterschiede der Geschwindigkeit, mit welcher jene erreicht wird.

Der dritte Vortheil ist der, dass schon bei mässig hohen Rheostatenständen selbst der an sich grosse Leitungswiderstand kleiner Nervenstrecken ebenfalls verschwindend klein wird. Bei 5 Millimeter langen Nervenstrecken, welche der Reizung ausgesetzt werden, beträgt deren Leitungswiderstand je nach ihrer Dicke 5—7 Millionen Meter Normal-Kupferdraht. Aber selbst diese Zahl wird für die Rechnung wenig ausgeben, wenn man bedenkt, dass der dazu kommende Widerstand im Rheostaten 400—500 und mehr Millionen Meter Draht ausmacht.

Der vierte Vortheil liegt in der ausserordentlich kleinen Grösse, bis zu welcher bei so schwachen und kurz dauernden Strömen die Polarisation anwächst. Mit äusserst empfindlichen Messapparaten, wie sie uns in den Galvanometern mit astatischen Nadeln und 7000—8000 Windungen zu Gebot stehen, lässt sich keine Spur einer Polarisation nachweisen, wenn bei Füllung des Rheostat mit Wasser oder 1000fach verdünnter Kupfervitriollösung seine Flüssigkeitssäule auch nur 10—7 Centimeter Höhe hat. Dieser Vortheil ist um so höher anzuschlagen, weil sich die Polarisation nur sehr schwer der Messung zugänglich machen lässt. Bekanntlich versteht man darunter die Folge von der Entwicklung einer neuen elektromotorischen Kraft, durch welche in der zur Leitung des primären Stromes verwendeten Flüssigkeit ein jenem Strom entgegengesetzt gerichteter hervorgerufen wird. Als Quelle dieser Kraft betrachtet man die Berührung der vom primären Strom erzeugten gasförmigen Zersetzungsprodukte der leitenden Flüssigkeit. Daraus resultirt also eine Abschwächung des primären Stromes, deren Maass sich mit Stärke und Dauer des letzteren ändert.

Alle diese einzelnen Punkte, auf welche man durch theoretische Ueberlegung schon hingeleitet werden konnte, mussten aber auch experimentell für die von mir gebrauchten Vorrichtungen eruirt werden, was denn auch zu sehr verschiedenen Malen geschah und keinen geringen Aufwand von Zeit erforderte.

Waren soweit alle auf die Stromstärke influirenden Grössen der Messung zugänglich gemacht worden, so handelte es sich dem Begriff der Stromdichte nach noch um die Messung der Nervenquerschnitte an der gereizten Stelle, und um die Ermittlung des Leitungswiderstandes der Nervensubstanz selbst in den verschiedenen Zuständen, in welche man sie durch äussere Einflüsse brachte. Die Bestimmung der Querschnitte hatte anfangs mit den grössten Schwierigkeiten zu kämpfen, welche schiesslich zu überwinden nur durch die Methode gelang, die bei der Aufstellung des Präparates behufs der Reizung eingeschlagen worden war. Diess war so eingerichtet, dass der frei herab hängende präparirte Schenkelnerv die Elektroden an immer derselben Stelle berührte, während der an seinem oberen Knochenende aufgespiesste Unterschenkel in einem vor Verdunstung gesicherten Raum der Beobachtung zugänglich war. Der Nerv konnte, so wie er den Raum zwischen den beiden Elektroden überbrückte, mit sammt diesen in einen Apparat gebracht werden, in welchem eine genaue mikrometrische Messung seiner Durchmesser gestattet war, ohne dass die geringste

Spur von Wasser während dieser Zeit von seiner Oberfläche zu entweichen vermochte.

Der elektrische Leitungswiderstand eines jeden beliebigen Nervenstückes konnte entweder in den einzelnen Fällen direkt bestimmt oder berechnet werden, wenn man seine Dimension gemessen und den spezifischen Leitungswiderstand der Nervensubstanz ermittelt hatte. Darunter versteht man die Zahl, welche angiebt, wie gross der Leitungswiderstand eines ein Meter langen und ein Quadratmillimeter dicken Nerven im Verhältniss zu einem Kupferdraht von den gleichen Dimensionen wäre. Die Benützung einer solchen Zahl kann aber nur dann für den speziellen Fall in Anwendung gebracht werden, wenn sich ergibt, dass ihr Werth bei frischen Nerven verschiedener Exemplare nicht erheblich schwankt.

Damit begann also die erste Vorarbeit für die Maassbestimmungen der Reizbarkeit. Die Hülfsmittel hierzu bot ein ganz genau calibrirter Rheostat; ein sehr empfindliches Galvanometer mit astatischem Nadelpaar, dessen Ablenkung mit Spiegel und Fernrohr beobachtet wurde, constante galvanische Becher und ein Auflagerungsapparat für die Nerven, in welchem die Polarisation so gut wie unmöglich gemacht und jede Verdunstung des Wassers vollkommen verhütet war. In zwei durch Jahresfrist von einander getrennten Perioden wurden zwei Reihen von je 16 Messungen angestellt, welche zu vollkommen übereinstimmenden Resultaten geführt haben. Die dabei gewonnene Zahl für den spezifischen Leitungswiderstand der frischen Nerven war:

446969436,3

Diese Zahl sagt, dass die Substanz der frischen Nerven 14,86mal besser den elektrischen Strom leitet als destillirtes Wasser. Die vorkommenden Schwankungen bewegen sich zwischen 13 und 18.

Da in der Mehrzahl der Fälle die Widerstände im Nerv gegenüber denen im Rheostat an sich schon gering sind, so ist es gestattet, jene Mittelzahl fast immer zur Berechnung der wirklichen Leitungswiderstände in dem speziellen Fall anzuwenden, wenn sich an dem Wassergehalt der frischen Nerven nichts geändert hat, und wenn die Dimensionen des fraglichen Nervenstückes gemessen worden sind. Man hat dann nur den Quotienten, welchen man durch Division der in Meter ausgedrückten Länge durch den im Quadrat-Millimeter ausgedrückten Querschnitt erhält, mit jener Zahl zu multipliciren, um sagen zu können, wie viel Metern Kupferdraht von 1 Quadrat-Millimeter Querschnitt der Widerstand in eben jenem Nervenstück gleichkommt.

Will man die Rechnung umgehen, so kann man bei Vermeidung der Polarisation den Widerstand irgend eines beliebigen Nervenstükkes mit dem im Rheostaten vergleichen, welcher die empfindliche Nadel des Galvanometers auf denselben Punkt der bleibenden Ablenkung drängt, und in den für den Rheostaten entworfenen Tabellen unmittelbar den gesuchten Widerstand, in Meter Normal-Kupferdraht ausgedrückt, finden.

Der spezifische Leitungswiderstand der Nerven ist wie der der Flüssigkeiten von den Mischungsverhältnissen und der Temperatur abhängig. Die Mischungsverhältnisse sind bei den verschiedenen Nerven schon im frischen Zustand Schwankungen unterworfen, aus denen sich jene oben angedeuteten Unterschiede in dem Leitungswiderstand erklären. Es müssen dieselben natürlich um so grösser ausfallen, je mehr man durch den Versuch selbst an den natürlichen Mischungsverhältnissen ändert. Dass in solchen Fällen die für die frischen Nerven gefundene Durchschnittszahl nicht mehr benutzt werden kann, leuchtet von selbst ein. Von viel grösserem Einfluss bleibt aber stets der Querschnitt der Nerven, weil er bei den Reizversuchen in viel höherem Grad auf die entscheidende Stromdichte influirt als der im Vergleich zu den übrigen Widerständen mehr untergeordnete Leitungswiderstand des Nervenstückes.

Die Rechnung ergiebt, dass man unter Voraussetzung der gleichen elektromotorischen Kraft und der gleichen Geschwindigkeit der Stromschwankung die zur Erzielung des gleichen Effektes (Minimalwerth der Muskelzuckung) nothwendigen Widerstände in der ganzen Strombahn benützen kann; und zwar gibt in zwei Versuchen an zwei beliebigen Nerven die dazu erforderliche Aus- oder Einschaltung von Widerständen den Maasstab für den Unterschied der Reizbarkeit in beiden Fällen ab, wenn man diejenigen Veränderungen im Rheostatenstand abgezogen hat, welche durch die Ungleichheiten des Querschnittes und Leitungswiderstandes der gereizten Nervenstücke geboten sind.

Nennt man G den Gesammtleitungswiderstand der ganzen Strombahn im einen Fall und q den Querschnitt des dabei gereizten Nerven, G^1 und q^1 dagegen die gleichnamigen Grössen im zweiten Fall, so lässt sich der Unterschied in der Erregbarkeit = Rh finden, wenn man die beobachteten Factoren zur Berechnung der Formel

$$Rh = G^1 - \left(\frac{q}{q^1} G\right).$$

benützt. Daraus folgt, dass man den flüssigen Rheostaten nur dann

direkt als Messinstrument benützen kann, wenn der Leitungswiderstand und Querschnitt des Nerven in den beiden mit einander verglichenen Fällen der gleiche ist. In jedem andern Parallelversuch dagegen verlangt die dabei gewonnene Rheostatenablesung erst eine Correctur, deren Umfang nach der oben aufgestellten Formel gefunden wird.

So lange die Nerven überhaupt reizbar sind und in einem vor Verdunstung geschützten Raum aufbewahrt werden, ändert sich ihr spezifischer Leitungswiderstand nicht, ausser durch die Schwankung der Temperatur, und zwar verkleinert sich derselbe mit zunehmender Wärme und vergrössert sich im entgegengesetzten Fall.

Hiemit glaube ich den Lesern wenigstens insoweit eine genügende Einsicht in die Aufgabe verschafft zu haben, dass er zu den jetzt mitzutheilenden Resultaten Zuversicht gewinnen wird, weil ihm die Ueberzeugung geworden sein dürfte, dass trotz der Schwierigkeit der Aufgabe und der vielfachen Cautelen, welche Experiment und Verwendung des direkt Beobachteten verlangt, alle Hülfsmittel aufgeboten worden sind, die einzelnen dabei in Betracht kommenden Grössen in Rechnung ziehen zu können.

Trotz dem Allem sind aber die Schwierigkeiten bei neurophysiologischen Forschungen dieser Art desshalb so gross, weil sich das Object der Untersuchung fortwährend ändert, ohne dass sich immer die Ursachen dieser Aenderungen auffinden oder nur die gesetzliche Form derselben leicht nachweisen liesse. Die Physik iu ihrer Anwendung auf Physiologie hat desshalb mit so viel grösseren Schwierigkeiten zu kämpfen, weil fast immer ein Theil der variablen Factoren unbekannt bleibt. Hier wird immer nur ein Wahrscheinlichkeitsresultat gewonnen, welches der gesetzlichen Sicherheit durch grosse Versuchsreihen näher gebracht werden kann. Darin liegt das Zeitraubende und Ermüdende solcher Untersuchungen, dass man oft Monate lang immer dieselben Versuche an verschiedenen Objecten zu wiederholen hat, bis man die unvermeidlichen Zufälligkeiten entweder zu beherrschen oder von dem Gesetzlichen abzuscheiden lernt.

Der erste Angriffspunkt, welchen ich mir wählte, war zu versuchen, wie weit man sich zunächst über die functionelle Bedeutsamkeit der einzelnen Bestandtheile der Nerven orientiren könne. Als einer quantitativen Bestimmung und willkührlich herbeizuführenden Aenderung am leichtesten zugänglich musste das Wasser erscheinen, von welchem die Nerven der Frösche im Durchschnitt 76 % führen.

Dieser Wassergehalt konnte durch Quellung wägbar vergrössert oder durch freiwillige Verdunstung in wasserärmern Räumen mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit verkleinert werden.

Der Nerv erfährt, so wie er von den Centralorganen getrennt ist, eine mit der Zeit fortschreitende Veränderung seiner Leistungsfähigkeit und Reizbarkeit. Ein Bild hiervon musste man sich zuerst verschaffen, wollte man den Einfluss der weiteren Masseaufnahme oder Vertrocknung hievon unterscheiden lernen. Die Reizung geschah desshalb von 5 zu 5 Minuten an Nerven, welche nebst den von ihnen versorgten Muskeln sorgfältig vor Verdunstung geschützt waren. Die Rheostatenstände durften hierbei direkt als Maasstab für die Reizbarkeitsgrade genommen werden, und es ergab sich, dass dabei die Reizbarkeit im Verlauf der Zeit anfänglich sehr rasch sinkt, um dann immer langsamer und langsamer kleiner und endlich verschwindend klein zu werden. Es können 3 Stunden und darüber verstreichen, bis man alle Widerstände des Rheostaten ausschalten muss, um noch Zuckungen auszulösen. Es ist mir keineswegs entgangen, dass in manchen und gerade nicht den seltensten Fällen anfänglich kurze Zeit die Reizbarkeit steigt, um dann schnell zu fallen, allein wegen des Vorwiegens der Fälle, in welchen sich diess nicht ereignete, glaubte ich mich berechtigt, diese Erscheinung als von mehr zufälligen Nebenumständen abhängig und desshalb als nicht charakteristisch für den absterbenden Nerv halten zu müssen. In der That lässt sich auch eine Bedingung namhaft machen, unter welcher diese anfängliche Steigerung fast ausnahmslos herbeigeführt werden kann. Es ist die, dass man den Nerv sehr nahe der Stelle reizt, an welcher er unmittelbar vorher war durchschnitten worden.

Kam es jetzt weiter darauf an, die Folgen vermehrter Wasseraufnahme zu studiren, so musste, um den oben aufgestellten Forderungen für eine Maassbestimmung der Reizbarkeit zu genügen, die Veränderung der Querschnitte, des spezifischen und absoluten Leitungswiderstandes der Nerven ermittelt werden. Gleichzeitig wurde auch die Imbibitionsgeschwindigkeit für Wasser von 15—16° R. mit der Waage geprüft.

Das Maximum der Wassermenge, welche die Nerven durch Imbibition aufnehmen können, ist beträchtlich, nehmlich im Durchschnitt 20 Procent des Gewichtes ihrer frischen Substanz. Es wird diese Grenze aber nicht durch einen gleichmässig fortschreitenden Gang der Quellung erreicht, sondern es erfolgt in den ersten 20 Minuten dieser

Procss mit sehr grosser Geschwindigkeit, welche von da ab immer mehr und mehr abnimmt. Von dem Ende der ersten bis zur zwanzigsten Stunde bemerkt man kaum mehr eine weitere Wasseraufnahme.

Dem entsprechend vergrössert sich auch der Querschnitt der quellenden Nerven anfänglich mit grösserer Schnelligkeit; von der zwanzigsten bis sechszigsten Minute dagegen mehr stetig. Nach 55 Minuten ist er um 71 % grösser geworden. Der spezifische Leitungswiderstand wird dabei fortschreitend grösser, was offenbar von der Verdünnung der in dem frischen Nerven enthaltenen Salzlösungen herrührt. Die Aschenbestandtheile desselben schwanken zwischen 0,63 und 1,16 Procent der frischen Substanz.

Der Widerstand dieser Salzlösung im Nerven macht aber nur $^1/_7$ des Widerstandes, welchen der ganze Nerv darbietet. Kein Wunder also, wenn sich derselbe rasch mit dem Auslaugen des im Wasser liegenden Nerven steigert. Im Ganzen erfolgt aber diese Vergrösserung des Leitungswiderstandes in arithmetischer Progression und hat nach 50 Minuten das Doppelte der ursprünglichen Höhe erreicht.

Nun sieht man leicht, dass der Effekt der Reizung immer kleiner werden müsste, wenn man den ursprünglichen Rheostatenstand beibehielte, ohne dass man daraus schliessen könnte, dass dem entsprechend die Reizbarkeit des Nerven durch die Quellung abgeschwächt würde. Ebenso ist es mit den Rheostatenständen, welche man herstellt, um immer denselben Effekt (Minimalwerth der Muskelzuckung) herbei zu führen. Jene müssen zu dem Behuf immer kleiner und kleiner gemacht werden, schon um deswillen, weil sich die Widerstände im Nerven steigern, noch mehr weil sich die Querschnitte desselben vergrössern. Von zwei Seiten her wird also die Stromdichte herabgedrückt und erst, wenn man von der direkten Ablesung am Rheostaten den Bruchtheil in Abzug gebracht hat, um dessen Grösse die Widerstände verringert werden müssen, damit die an dem Nerven erfolgten physikalischen Veränderungen wieder ausgeglichen werden — erst dann lässt sich erkennen, in welchem Verhältniss bei den quellenden Nerven die Reizbarkeit mit der Zeit abnimmt. Es ergibt sich dann, dass in Folge dieser Ursache allein nach und nach folgende Bruchtheile des ursprünglichen Gesammtleitungswiderstandes aus dem Schliessungsbogen entfernt werden müssen, um stets den gleichen physiologischen Effekt zu erzielen:

Nach 5 Minuten Quellung 0,092.
„ 10 „ „ 0,19.

Nach 20 Minuten Quellung 0,26.
„ 30 „ „ 0,38.
„ 50 „ „ 0,57.

Daraus ergibt sich, dass die Nervenreizbarkeit des galvanischen Froschpräparates unter dem Einfluss der fortschreitenden Imbibition von Wasser (von 15—17⁰ R. Wärme) innerhalb 50 Minuten um etwas mehr als das Doppelte sinkt, und zwar erfolgt dieses Sinken in der ersten Zeit rascher, von der zehnten Minute an dagegen je mehr und mehr bis zur fünfzigsten Minute hin in einer nahezu arithmetischen Progression. Bis zu jener Zeit hin erweist sich also trotz der fortwährenden Auslaugung und des Eindringens von Wasser diese Veränderung nicht so eingreifend, als man den unmittelbaren Rheostatenablesungen nach erwarten sollte, denn die Reizbarkeit sinkt nicht wesentlich anders als bei dem im feuchten Raum absterbenden Nerven. Erst später tritt der nachtheilige Einfluss der Quellung entschiedener hervor.

Ganz anders wirkt die Entziehung des natürlichen Wassers der frischen Nerven auf die Erregbarkeit; begreiflicher Weise kommt es dabei sehr wesentlich auf die Geschwindigkeit an, mit welcher das Wasser aus der Nervensubstanz entweicht. Immer wird dabei an dem Nerven der Querschnitt und der Leitungswiderstand verändert, und zwar so, dass jener sich verkleinert, dieser sich vergrössert. Ist nun hier ebenfalls wie bei der Quellung die Querschnitts-Aenderung das Wichtigste, so stehen doch die enormen Widerstände, welche man im Verlauf der Austrocknung einschalten muss, um die Minimalwerthe der Zuckung bei jeder Reizung zu erzielen, in gar keinem Verhältniss zu der Verkleinerung des Querschnittes, welcher bei constant erhaltener Stromstärke die Stromdichte anwachsen liesse. Nach kurzer Zeit wächst die Reizbarkeit nach meiner Methode bestimmt um das Zehnfache an, wenn der Wasserverlust erst 3—4% beträgt und der Querschnitt sich nur um Weniges geändert hat. Es darf als eine unzweifelhafte Thatsache betrachtet werden, dass die Wasserentziehung die Reizbarkeit des Nerven in der kürzesten Frist enorm steigert, wozu noch als charakteristisches Merkmal das hinzutritt, dass dieselbe von jener Höhe zuletzt plötzlich auf Null herabsinkt. Gar häufig kann man bei anderen Versuchen, bei welchen man vielleicht dann und wann weniger auf die Sättigung des Experimentirraumes mit Wasserdampf Acht hat, bemerken, dass sich die Reizbarkeit gegen Erwarten nach und nach erhöht. In solchen Fällen wird man sich überzeugen können, dass diess von

einer allmählichen Vertrocknung herrührt. Denn direkte Versuche haben mich belehrt, dass auch ganz allmähliche Verminderung des Wassergehaltes jene Steigerung bewirkt, und dass auch in solchen Fällen fast immer ein unerwartet plötzlicher Tod der Nerven eintritt, während bei gleich bleibendem Wassergehalt die Nerven ganz allmählich absterben.

Ganz unbegreiflich scheint es oft, wie nach fast vollkommener Austrocknung die Nerven noch reizbar und zwar in hohem Grade reizbar bleiben können. Ich habe die dünnen motorischen Wurzeln auf den Elektroden in freier Luft über drei Stunden lang liegen und zu vollkommen transparenten, gelblichen, kaum mehr sichtbaren Fäden vertrocknen lassen und ihre Reizbarkeit nach dieser Zeit noch äusserst gross gefunden.

Somit erscheint es uns als durchaus nothwendig, dass durch den continuirlichen Stoffwandel der Wassergehalt der Nerven innerhalb nicht sehr weiter Grenzen streng geregelt bleibe. Weniger schädlich für die Oekonomie des Ganzen dürfte eine Vermehrung des Wassergehaltes als eine Verminderung desselben sein. Wenn die Vermehrung desselben in der Nervensubstanz des Menschen sich als gefährlich für ihre Function erweist, so kann diess auch dadurch erklärt werden, dass trotz der wenig veränderten Reizbarkeit die Ausgiebigkeit des Angriffes gegen die Nerven wie in unseren elektorischen Versuchen beeinträchtigt ist.

Lässt sich auf solche Weise ungezwungen der Torpor erklären, welcher sich mit wasserreicheren Nerven verbinden kann, so ergibt sich auf der anderen Seite leicht auch die Gefahr, welche bei Verminderung des normalen Nervenwassers droht. Sie liegt in der Leichtigkeit, mit welcher in solchen Zuständen die Nerven vorübergehen oder auf längere Zeiten in heftige Erregungszustände übergeführt werden können.

An den isolirten Nerven lässt sich diess leicht studiren, wenn man das Phänomen verfolgt, welches unter der Form der Krämpfe an den Muskeln auftritt, die von vertrocknenden Nerven versorgt werden. Diese Erscheinung habe ich einer genauen Untersuchung unterworfen und will ihre Resultate im Folgenden kurz zusammen drängen.

Es war bekannt, dass die Muskeln ausnahmslos in länger dauernde Krämpfe verfallen, wenn man ihren Nerven rasch dadurch das Wasser entzieht, dass man sie in concentrirte Kochsalzlösung oder trocknes

Zuckerpulver legt. Lässt man sie in der Zimmerluft vertrocknen, so ereignet sich diess nicht jedesmal und nicht bei allen Präparaten gleich schnell, wenn auch Temperatur und Wassergehalt der Luft in allen Versuchen gleich bleibt. Man vermuthete, dass der Mischungswechsel des Nerven an sich schon das ursächliche Moment abgäbe, sobald dieser Wechsel nur mit der gehörigen Geschwindigkeit vor sich gehe.

Mancherlei anderweitige Erfahrungen drängten mir die Ueberzeugung auf, dass es weniger der Mischungswechsel an sich als vielmehr irgend ein damit verbundener Process sei, durch welchen schliesslich die Krämpfe eingeleitet werden. Welcher Natur dieser Process sein könne, und ob überhaupt die Annahme eines solchen nothwendig wäre, habe ich durch eine ausgedehnte Versuchsreihe zu ermitteln gesucht. Die Nerven wurden theils im freien Zimmerraum, theils in kleineren, geschlossenen und wasserärmeren Räumen der Verdunstung ausgesetzt. Ich liess sie in bewegter Luft vertrocknen, wobei die Geschwindigkeit der Luftströmung gemessen wurde. Dabei wurden die Wassermengen bestimmt, welche sie in einer bestimmten Zeit verloren, und die Dimensionen der Nervenstücke gemessen, welche der Verdunstung ausgesetzt worden. Alle diese Versuche haben auf das Zuverlässigste ergeben, dass es nicht der Mischungswechsel an sich ist, durch welchen die Krämpfe veranlasst werden, sondern dass der Nerv dann, wenn er eine bestimmte Menge Wasser bereits verloren hat, in einen Zustand geräth, in welchem ein sehr kleiner und kurz dauernder Impuls eine nachhaltige Reihe von Erschütterungen hervorzurufen vermag. Diese gibt sich dann an den Muskeln als Convulsionen zu erkennen. Es hat dieses Phänomen äusserlich eine grosse Aehnlichkeit mit den bekannten Erscheinungen des plötzlichen Erstarrens einer unter Null abgekühlten Wassermasse, wenn sie erschüttert wird u. dgl. Man hat sich zu denken, dass dabei die Kräfte in einen hohen Grad gegenseitiger Spannung versetzt sind, um bei der geringsten Veranlassung sofort frei zu werden und das Phänomen der Zuckung zu erzeugen.

Es hat sich aber herausgestellt, dass es gewisse Prädispositionen gibt, in Folge deren die Nerven eines Thieres leichter in solche Zustände gerathen als die eines anderen, und dass die verschiedensten Umstände: schwache mechanische Erschütterungen, sehr schwache Stösse elektrischer Ströme etc. den Ausbruch der Krämpfe herbeiführen, oder ihren Eintritt begünstigen können. Vertrocknen die Nerven in der freien Luft, so ist es vor Allem die Heftigkeit ihrer Strömung, welche

auf das Phänomen influirt; und da die Bewegung der Luft wesentlich dasselbe unterstützen kann, ohne dass dabei die Geschwindigkeit der Wasserabnahme sich zu steigern braucht, so muss angenommen werden, dass die mechanische Erschütterung, welche die wirksamen Nervenelemente trifft, wenn das Wasser entweicht, den bestimmenden Factor zur Erzeugung des ganzen Phänomens abgibt. Da es sich ferner gezeigt hat, dass auf einer gewissen Höhe des Wasserverlustes ohne weitere nachweisbare Schwankung des Wassergehaltes durch äussere Umstände beliebig oft hintereinander die Erscheinung der Krämpfe hervorgerufen und wieder sistirt werden kann, so war bewiesen, dass es eben weder auf den Mischungswechsel an sich, noch auf die Geschwindigkeit seines Eintrittes ankommt, sondern allein auf die Nebenumstände, in welche ein bis zu einem gewissen Grad ausgetrockneter Nerv versetzt wird. Die Natur solcher Nebenumstände ist im Ganzen gleichgültig, wenn sie nur überhaupt, auf frische Nerven mit höheren Intensitätsmaassen angewendet, Zuckungen hervorzurufen vermögen.

Die Heftigkeit der Muskelverkürzung, welche die Vertrocknung der Nerven begleitet, scheint sehr gross zu sein, leistet aber in der That sehr wenig, wie ich mich durch Versuche überzeugt habe. Das heisst: der unbelastete Muskel verkürzt sich bei dieser Gelegenheit wohl um einen beträchtlichen Bruchtheil seiner Länge, aber das Gewicht, welches er dabei eben noch zu bewältigen vermag, ist 4—5 mal kleiner als das, welches noch um ein Merkliches gehoben werden kann, wenn der frische Nerv von einem galvanischen Reiz höheren Grades getroffen wird. Somit ist also die Contraction bei den Muskelkrämpfen, welche durch die Nervenvertrocknung entsteht, wohl extensiv, aber nicht intensiv heftig.

Als äusserst interessant hat sich bei dieser Gelegenheit die abwechselnde Wirkung der trocknen Wärme und Kälte herausgestellt. Ist der Wasserverlust in jener bis zu einer gewissen Höhe angewachsen, so hören die Krämpfe auf, steigern sich im Nu zum Maximum, sobald der Nerv in einen kühleren Raum kommt, und verschwinden plötzlich wieder in trockner Wärme von $29-32^0$ R.

Schon geringe Mengen von Ammoniakdampf in der Atmosphäre, in welche der Nerv gebracht wird, sistiren fast momentan nicht bloss die Krämpfe, sondern auch jede Lebensäusserung des Nerven.

In Beziehung auf die Eintheilung der Krämpfe in klonische, tonische und tetanische hat sich hierbei experimentell sehr leicht demontrirbar herausgestellt, dass der Unterschied durchaus nur ein quanti-

tativer, keineswegs ein qualitativer ist. Successive lässt sich durch Steigerung des Reizes die eine Form in die andere überführen und durch Verminderung oder Gegenwirkung wieder zur klonischen Form zurückbringen.

Als allgemeinste und durch Beobachtungen wie durch Wägungen garantirte Folgerung kann für höhere Organismen und den Menschen das gelten, dass, je geringer die Menge des Wassers in den Nerven durch pathologische Processe wird, desto leichter irgend welche weitere, selbst sehr schwache Reize, welche von aussen oder von innen her die Nerven treffen, zu heftigen Erregungsformen führen können. Man wird fast immer in solchen Fällen, wie in der Cholera, dem englischen Schweiss und anderen Colliquationen oder Hämorrhagien die dabei auftretenden Convulsionen von dem Wasserverlust, welchen die Nerven dabei erleiden, allein oder in Verbindung mit gleichzeitig auf sie wirkenden Reizen, ableiten dürfen. Nicht unwahrscheinlich ist es, dass bei manchen Formen der Hyperästhesis dieselbe Ursache eine wichtige Rolle spielt. Ich werde später noch auf eine entferntere Wirkung des Wasserverlustes zurückkommen, welche den Gesammtnerv trifft.

Versuchsreihen, welche die Bedeutung des in flüssigem Zustand im Nerv enthaltenen Eiweisses aufklären sollten, haben bisher noch zu keinem bestimmten Resultat geführt, und dürften solche auch nur am Gesammtorganismus anzustellen sein, insoferne es dabei offenbar nur darauf ankommt, die Folgen zu studiren, welche mit der veränderten Zufuhr der eiweissartigen Ernährungsflüssigkeit verbunden sind. Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass auch innerhalb der Nervensubstanz ein fortwährender Stoffwandel vor sich geht, welcher hier, wie in andern Organen, gewisse Zersetzungsprodukte entstehen lässt. Einzelne Beobachtungen lassen mich vermuthen, dass diese vielleicht theilweise mit zur Lebensäusserung der Nerven nothwendig sein mögen. Dass sie in der Nervensubstanz vorhanden sind, ist von Anderen bereits nachgewiesen. Dass eine schwache Säure entweder frei oder in Verbindung mit einem anderen Stoffe, von welchem sie leicht getrennt werden kann, wichtig für die Functionsfähigkeit des Nerv ist, ergiebt sich unzweideutig aus den Versuchen, welche ich mit Ammoniakdämpfen angestellt habe. Treffen diese auch in sehr grosser Verdünnung den nackten Nerven, so büsst er mit fast blitzähnlicher Geschwindigkeit seine Reizbarkeit ein; hat man ihn aber vorher kurze Zeit den Dämpfen der Salpetersäure ausgesetzt, so bedarf es einer ungleich längeren Einwirkung des Ammoniakdampfes, bis die Reizbarkeit erlischt.

Vorläufig wird es jedoch noch gerathener sein, von diesem Versuch nur Notiz zu nehmen, ohne schon jetzt weitere Folgerungen daraus zu ziehen.

Nicht minder dunkel ist gegenwärtig noch die Rolle, welche die fettigen Bestandtheile spielen. Aus der verhältnissmässig grossen Menge derselben lässt sich von vornehcrein schliessen, dass sie von Wichtigkeit sein dürften. Leider hat uns aber die Chemie noch nicht hinlänglich darüber aufgeklärt, welcher Natur die fettigen Stoffe und besonders ihre Combination in frischen Nerven ist.

Mikroskopisch tritt uns das Bild der Markscheide, in welcher jene Stoffe fast ausschliesslich deponirt sind, im Allgemeinen unter zwei Formen entgegen. Entweder sie erscheint als eine durchaus homogene glashelle Masse, deren Lichtbrechungsvermögen gleich dem der übrigen Gewebetheile der Nerven ist, so dass es sich von diesen nicht unmittelbar unterscheiden lässt; oder sie bildet zusammenhängende oder in kleinere Portionen zerfallene, von dunklen Conturen begrenzte Massen, Tröpfchen, Körnerhaufen, gefaltete Canalwandungen — im Ganzen regellos gestaltete Bilder der mannigfachsten Art in der Nervenscheide eingeschlossen oder aus ihren Riss- und Schnittstellen hervorgedrängt.

Diese zweite Form bezeichnet die mikroskopische Anatomie mit dem Namen: geronnene Markscheide. Man war früher der Ansicht, dass der Nerv, in dessen Mark eine solche Veränderung eingetreten ist, nicht mehr functionsfähig sei. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass der normale Stoffwandel und die dauernden Lebenseigenschaften des Nerven nur dann möglich sind, wenn die erste Form noch besteht; aber geläugnet muss werden, dass der Uebergang in die zweite Form *sofort* alle Thätigkeitsäusserungen des Nerven unmöglich macht.

Die Reizbarkeit, d. h. also die auffälligste Eigenschaft eines Nerven, in Folge dessen z. B. der motorische Nerv die Formveränderung eines von ihm mit Fasern versorgten Muskels hervorzurufen im Stande ist, wenn ihn irgend ein äusserer Impuls trifft, diese Reizbarkeit bleibt dem vor Vertrocknung geschützten isolirten Nerven Stunden, ja oft selbst Tage lang erhalten, während sich leicht zeigen lässt, dass das, was man Gerinnung der Markscheide nennt, in der kürzesten Frist an dem isolirten Nerv eintritt. Nicht minder sieht man, dass die Nerven reizbar bleiben, wenn man durch Wasser oder durch veränderte Temperaturen jenen Process beschleunigt, ja dass man durch äussere Einflüsse die Reizbarkeit sehr mannifach modificiren kann, bald erhöhen,

bald vermindern, ohne dass dadurch gleichzeitig an der Beschaffenheit der Markscheide etwas Wesentliches geändert zu werden braucht. Es gibt Fälle, in welchen die Reizbarkeit ausserordentlich gesteigert ist, obwohl der grösste Theil des Fettes dabei in Tropfen aus der Faser gepresst worden.

Scheint es hiernach, als bedürfte der Nerv wenigstens für temporäre Leistungen dieser Stoffe gar nicht, so deuteten grosse Versuchsreihen, welche ich angestellt habe, wieder darauf hin, dass sie trotzdem eine wichtige Rolle spielen dürften.

Die Experimente, von welchen ich jetzt zu sprechen habe, wurden mit sehr vielen dampfförmigen Stoffen angestellt, welche alle eine grosse Verwandtschaft zu den fetten Körpern im Nerven haben: Aether-Arten, Alkohol, ätherische Oele. Ich liess die Nerven nur von ihrem Dampf berühren, um der complicirten Wirkung einer gleichzeitigen Veränderung des Wassergehaltes, der Auslaugung etc. vorzubeugen. Bei allen diesen Substanzen erfolgt mehr oder minder rasch nach ihrer Berührung eine vollkommene Reizlosigkeit. Die Nerven erholen sich im Dampf vieler dieser Substanzen, wenn sie gleich darauf aus demselben genommen und in feuchte, atmosphärische Luft zurückgebracht werden durch blosse Abdunstung des eingedrungenen Dampfes. Das letztere muss angenommen werden, weil an dem isolirten Nerven jede anderweitige Möglichkeit eines Wiederersatzes des verloren gegangenen oder deplacirten Fettes mit dem Aufhören der Blutcirculation abgeschnitten ist. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Reizlosigkeit und die Restauration eintritt, lässt sich in kein Verhältniss zu der Grösse der fettauflösenden Kraft noch auch zu den Siedepunkten der angewendeten Stoffe bringen.

Diess musste darauf führen, den Einfluss dieser Dämpfe weniger mit ihrer chemischen Verwandtschaft zum Fett in Beziehung zu setzen, als vielmehr mit der ihnen allen zukommenden Kraft den Sauerstoff der atmosphärischen Luft zu ozonisiren.' Diese Kraft kommt nicht allen in gleichem Maass zu; experimentell erwiesen wurde, dass z. B. Bergamotöl, wenn sein Ozon durch kurzes Kochen war zerstört worden, seine vorher im auffallendsten Maass zu Tag tretende Wirkung auf die isolirten Nerven fast vollkommen eingebüsst hatte. Direkte Versuche mit reinem Ozon liessen eine den Dämpfen ätherischer Oele parallel gehende Wirkung erkennen. Wie durch diese, so wird auch durch jenes die anfänglich geschwächte Reizbarkeit eine kurze Zeit

lang gesteigert, um von da an rasch zu sinken und in reiner atmosphärischer Luft nach einiger Zeit wieder zu steigen.

Durch diese Befunde war die ganze Frage der Lösung näher gebracht und der scheinbare Widerspruch gelöst, welcher im obigen angedeutet wurde. Es ergab sich daraus im Allgemeinen, dass es die in so hohem Grade oxydirende Wirkung des Ozons ist, welches auch auf die Nerven wirkt, wenn sie in den genannten Dämpfen hängen. Im Zusammenhalt mit den früher angeführten Versuchen musste die Vermuthung Platz greifen, dass der ganze Process weniger direkt gegen die Nervenfette gerichtet ist, als gegen die eiweissartigen Körper, dass aber die Verwandtschaft der Fette zu jenen Dämpfen das Vordringen des Ozons gegen die wesentlichen und eiweissartigen Bestandtheile der Fasern in hohem Grad unterstützt. Somit blieb in Beziehung auf die Fette der isolirten Nerven nur die Annahme stehen, dass ihre Bedeutsamkeit eine für ihre temporäre Function mehr untergeordnete ist.

Die durch Wasser auszulaugenden Salzbestandtheile, deren keine kleine Menge im Nerv vorhanden ist, können ebenfalls keine sehr wichtige Rolle spielen, denn sonst wäre es undenkbar, dass die Reizbarkeit quellender Nerven so langsam abnimmt; denn leicht lässt sich aus der Aenderung des Gewichtes und des spezifischen elektrischen Leitungswiderstandes der Nerven während der Quellung auf einen sehr raschen Verlust an Salzen schliessen.

Wie vielfach man auch die Versuche abändern mag, immer kommt man auf die allgemeine Schlussfolgerung zurück, dass es die eiweissartigen Bestandtheile sind, welche durch die Beweglichkeit ihrer Moleküle, d. h. durch die Leichtigkeit, mit welcher sie sich umsetzen, bei einem bestimmten physikalischen Zustand der festen Theile das Spiel der lebendigen Kräfte im Nerven bedingen.

Am Gesammtnerven bildet das äussere Neurilem, die Nervenscheide der einzelnen Faser, und wie ich für meine Person überzeugt bin, der Axencylinder die Summe der festen Gewebemassen. Legt man überhaupt auf die cohärente Masse einer Faser einen vorwiegenden Werth, so dürfte man wohl im Axencylinder den Körper suchen, auf welchem der Innervationsprocess wesentlich ruht. Man ist freilich nicht im Stand, an ihm in isolirtem Zustand zu experimentiren; es war aber denkbar, dass sich gewisse Veränderungen an ihnen summiren und dadurch physikalische Zustände am Gesammtnerven ändern werden, sobald der Nerv in Erregung versetzt wird. Man hat an Metalldrähten

kleine Veränderungen ihrer elastischen Kräfte nachweisen können, wenn sie von elektrischen Strömen umkreist wurden. Es konnte möglicher Weise eintreffen, dass auch im Nerven Aenderungen seiner Cohäsion nachweisbar würden, wenn er heftigen Inductionsstössen ausgesetzt wird. Allein alle, auch die feinsten Methoden liessen mich in dieser Beziehung im Stich; mit keiner gelang es mir, irgend eine Cohäsionsveränderung bestimmt nachzuweisen. Damit ist aber nicht gesagt, dass wirklich keine solchen Aenderungen an den wirksamen festen Nerventheilen auftreten können, sondern nur, dass sie sich nicht nachweisen lassen, weil sie durch die gleichbleibenden physikalischen Eigenschaften der übrigen ausserwesentlichen Gewebeelemente compensirt und dadurch der Beobachtung vielleicht unzugänglich werden. Dass sich mit den physikalischen Eigenschaften der Cohäsion und Elasticität sicher auch die physiologischen Leistungen ändern, darauf wird man theils durch Beobachtungen, theils durch Experimente geführt, welche ich zum Oeftersten anzustellen Gelegenheit hatte.

Nicht bloss ergibt sich, entsprechend den grossen Schwankungen im Reizbarkeitsgrad der einzelnen Nerven, eine sehr grosse Differenz in ihrem Festigkeitsmodus durch Zahlen ausdrückbar, sondern auch die Leichtigkeit, mit welcher es gelingt die einzelnen Fasern von den mit ihnen verflochtenen Gewebmassen zu trennen, zeigt grosse Unterschiede. Ich habe gezeigt, wie man die ganzen Nervenstämme mit fast allen ihren Fasern, ja oft bis zu ihren feinsten Verzweigungen hin aus den grossen Gliedmassen und Muskeln der Thiere herausziehen kann, wobei das Neurilem ringsum einreisst und die Nerven aus ihren Scheiden hervorgezogen werden können; wie diess aber bei den Sommerfröschen viel leichter gelingt als bei den Winterfröschen, aber durchaus nicht bei allen Thieren gleich gut.

Es lag nahe, diese Thatsachen mit den Befunden bei der Reizung in einen gewissen Zusammenhang zu bringen, welcher aber erst dadurch mehr gerechtfertigt wurde, als es mir gelungen war, die functionelle Bedeutsamkeit der Nervenhüllen überhaupt näher ans Licht zu ziehen. Zu diesem Abschnitt meiner Untersuchungen will ich jetzt übergehen.

Das Neurilem, ein Fasergewebe von nicht unbeträchtlicher Elasticität, umschliesst die Faserbündel der Nerven nicht immer mit der gleichen Innigkeit. Die Elasticität der letzteren, sowie ihre Resistenz ist grösser als die der Hülle. Feine Fältchen geben der letzteren ein

zierliches Ansehen, sie reisst aber bei äusserem Zug leichter als das eigentliche Nervengewebe, worauf eben die Möglichkeit beruht, die Nerven, wie eben erwähnt wurde, aus ihren Scheiden hervorzuziehen. Das glänzend weisse Ansehen des Neurilems rührt grosscntheils von der nicht unbeträchtlichen Menge Wasser her, welches sie führen. Es wird trübe und gelblich, sowie das Wasser aus ihm abdunstet.

Legt man um einen Nerven eine Ligatur oder comprimirt ihn, so weiss man, dass dadurch der eingeschlossene Nerv anfänglich erregt, schliesslich ganz gelähmt und functionsunfähig gemacht wird. Was hier die Ligatur bewirkt, wird jede solche Zustandsänderung des Neurilems herbeiführen, in Folge dessen der Nerv auf längerer oder kürzerer Strecke seines Verlaufes fester von ihm umschlossen wird. Das muss geschehen, wenn der Nerv in toto der Vertrocknung ausgesetzt wird, wenn sauere Dämpfe ihn treffen und die Hülle zum Schrumpfen bringen u. dgl.

Die Maassbestimmungen der Reizbarkeit in solchen Fällen beziehen sich aber immer auf die Gesammtwirkungen mehrerer Einflüsse, also der Entziehung des Wassers und des Druckes, der chemischen Veränderung der Nervensubstanz und des Druckes u. s. w. Eine wichtige Erfahrung, welche ich gewonnen hatte, führte mich darauf, den Druck gesondert von den anderweitigen Einflüssen in seiner Wirkung zu studiren. Ich fand nämlich, dass bei Reizung einer Nervenstelle, deren Wassergehalt unverändert erhalten wird, der Effekt der Reizung enorm steigt, wenn man ein beschränktes Stück des Nerven vor der gereizten Stelle (d. h. ein näher dem Muskel gelegenes) gleichzeitig vertrocknen lässt. Diese Thatsache beweist, dass die physiologische Leitungsgüte eines vertrocknenden Nervenstückes bedeutend wächst mit der Verminderung seines Wassergehaltes. Ein und derselbe Impuls, welcher z. B. vom Centralorgan ausgeht, wird demgemäss sehr verschiedene Erfolge haben können, je nach dem Wassergehalt des Nerven an dieser oder jener Stelle seines Verlaufes.

Um jetzt die Druckwirkung für sich zu studiren, construirte ich einen Apparat, in welchem es mir möglich war, ein vor der gereizten Nervenstrecke gelegenes Stück desselben Nerven, ohne dessen Wassergehalt zu verändern, einem messbaren Druck auszusetzen, und denselben jeden Augenblick wieder aufzuheben. Dabei fand sich, dass schon bei geringen Gewichten, z. B. 7 Gramm, der Index der Reizbarkeit um 20 % erhöht werden musste, um denselben Effekt wie vorher zu erzielen. Bei 170 Gramm Belastung war fast die dreifache

Höhe des ursprünglichen Rheostatenstandes gefordert. Von da ab vermindern aber weitere Belastungen die Reizbarkeit wieder, obwohl sie bei 300 Gramm noch um die Hälfte höher sein kann als ursprünglich. Erst Gewichte von nahezu 400 Gramm und darüber heben die Leitungsfähigkeit des comprimirten Stückes gänzlich auf.

Es war also bewiesen, dass der Hüllendruck sehr wesentlich auf die Erregbarkeitsgrade der Nerven influirt und wenn immerhin auch bei Vertrocknung, bei der Einwirkung saurer Dämpfe u. s. w. anderweitige Ursachen mitwirken — so bleibt doch nebenbei der Hüllendruck ein sehr mächtiger Hebel für die Entstehung der dabei beobachteten Veränderungen in der Nervenreizbarkeit. Ganz abgesehen hiervon aber stellte sich heraus, dass die verschiedenen Zustände des Neurilems, d. h. die Festigkeit oder Lockerheit, mit welcher dasselbe die Faserbündel des Nerv umschliesst; von hoher functioneller Bedeutung für die Leistungen des Gesammtnerven sein müssen. Die einfachsten Ueberleguugen geben uns die Gewissheit, dass die Zustände des Neurilems in Folge der verschiedenen Ernährungsprocesse im Organismus und deren Schwankungen im physiologischen, wie pathologischen Leben mannichfachen Modificationen unterworfen sein müssen. Diese wirken zurück auf die Leistungsfähigkeit und Leitungsgüte der Nerven, und wir stehen desshalb nicht an, in den Nervenhüllen sowohl sehr wesentliche Regulatoren der Nervenreizbarkeit als auch sehr ausgiebige Gelegenheitsursachen zur Entstehung und Unterhaltung pathologischer Vorgänge zu erkennen.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass die Veränderungen in der Nervenhülle auch bei den Einwirkungen der Wärme und Kälte, welcher wir die Nerven aussetzen, eine wichtige Rolle spielen. Besonders sind es die Krämpfe, deren Eintritt und Intensitätsgrade, sowie ihre Dauer, sowohl in den extremeren Kälte- als Wärmegraden von der Geschwindigkeit abzuhängen scheinen, mit welcher die Aenderung im Volum und Spannung der Nervenhülle dadurch eingeleitet wird.

Um die Versuche mit verschieden temperirter Luft anstellen zu können, war es nothwendig besondere Vorkehrungen zu treffen, um dem isolirten Nerv allein die geforderte Temperatur mitzutheilen, ohne dass die Muskulatur ihre ursprüngliche Temperatur änderte. Nerv und Muskel war also je in gesonderten Räumen aufzustellen, wobei nach Bedarf die Luft des Raumes, in welchem sich der Nerv befand, mit Wasserdunst gesättigt oder trocken erhalten werden konnte.

Nicht minder mussten den allgemeinen Grundsätzen nach, welche oben für die Maassbestimmung der Reizbarkeit aufgestellt worden sind, die Aenderungen des Leitungswiderstandes bestimmt werden, welche der Nerv in den verschiedenen Temperaturgraden gewann.

Das fortgesetzte Studium dieser Einflüsse verlangte ausserdem noch mancherlei Untersuchungen sonstiger physikalischer Eigenschaften, welche die Nerven in der Wärme und Kälte oder bei dem Uebergang von einer Temperatur in die andere gewannen. Auf diesem theilweise sehr mühseligen Weg gelangte man endlich zu folgenden allgemeinen Resultaten. Wie von ihren natürlichen Mischungsbestandtheilen die Nerven zu ihrer normalen Leistungsfähigkeit stets ganz bestimmter Mengen bedürfen, so ist dazu auch eine gewisse Temperatur nöthig; in Folge dessen wird die Function der Nerven geändert oder sistirt, wenn von einer gewissen Grenze an jene geforderte Temperatur ab- oder zunimmt. Die auffälligste Erscheinung an dem Froschpräparat, dessen Nerv extremen Temperaturgraden ausgesetzt wird, ist die, dass die Muskeln in Krämpfe verfallen, wenn der Nerv unter 0 erkältet, oder der feuchten Wärme von + 63° R. und darüber ausgesetzt wird. Es nimmt aber weder Dauer noch Intensität zugleich mit der extremen Temperatur zu, sondern beides von einer gewissen Grenze wieder ab. Die Veränderungen, welche in Folge dieser Einflüsse der Nerv erfährt, und welche eben die Veranlassung zu dem Eintritt der Krämpfe werden, dürfen nicht mit einer unendlich grossen Schnelligkeit den Nerv treffen, sondern sie wirken nur dann, wenn diess mit einem bestimmten Maass der Geschwindigkeit eintritt; ganz ähnlich wie man bei sehr raschem Zuziehen einer Ligatur, wobei der Nerv plötzlich durchschnitten wird, oft gar keine Zuckungen auftreten sieht, während solche sehr heftig sind, wenn man dieselbe Manipulation etwas langsamer vornimmt.

Untersucht man den Einfluss allmählich steigender oder abnehmender Temperatur der immer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft des Raumes, in welchem der Nerv sich befindet, so beobachtet man sogleich, dass man es nicht mit einer regelmässig ansteigenden Intensitätsskala der Einwirkung zu thun hat, sondern dass es vielmehr ganz bestimmte Wendepunkte gibt, an welchen die Function und die physikalischen Eigenschaften der Nerven plötzliche Aenderungen erfahren. Nach aufwärts liegt ein solcher Wendepunkt bei + 29 — 30° R. An dieser Temperaturgrenze vermindert sich plötzlich in auffallendem Grade die Reizbarkeit; dort liegt auch der Schmelzpunkt des Nerven-

fettes der Frösche. Resistenz und optische Eigenschaften der Nerven ändern sich dabei plötzlich. Verminderung dieser Wärme bis zu 15—16° R. lässt die alten Eigenschaften des Nervengewebes wieder zurückkehren und die Reizbarkeit wieder steigen. Der zweite Wendepunkt liegt bei + 45—48° R. und charakterisirt sich durch einen plötzlich erfolgenden Scheintod. Das Nervengewebe wird dabei plötzlich auffallend weicher, dunkler, die Markscheide zerfällt in krümliche Massen. Bringt man den Nerv in die Temperatur von 15—16° R. zurück, so löst sich entweder sofort der Scheintod, oder wenn der Nerv wieder in 45—50° R. zurückgebracht wird, worauf er denn in dieser Temperatur später eintritt, als diess beim ersten Mal der Fall war. Der dritte Wendepunkt liegt bei ca. + 63° R., in welcher Temperatur, wie oben erwähnt, die Muskelkrämpfe rascher auftreten.

Nach abwärts von + 15° R. beobachtet man schon bei + 14—15° R., dass die Reizbarkeit anfänglich sich steigert, um bald darauf zu sinken. Bringt man dann den Nerv zurück in die Temperatur von + 15—16° R., so sinkt sofort die Reizbarkeit, um hinterher wieder zu steigen. Von — 5—8° R. an bewirkt die Kälte sofort die Muskelkrämpfe des Präparates. Von — 10° R, an ist die Resistenz der Nerven erhöht; sie sind verdichtet und äusserst leicht der Länge nach spaltbar. Klar genug tritt in allen diesen Fällen zu Tag, wie hauptsächlich die Aenderungen, welche die physikalischen Eigenschaften der festen Gewebsmassen der Nerven erfahren, .Ursachen der Veränderungen sind, welche die physiologischen Leistungen und Functionen des Nerv zeigen. Direkt scheint hierbei der Axencylinder, indirekt, d. h. rückwirkend auf die wesentlichen Elemente, die Nervenhülle betheiligt zu sein.

Grosse Aehnlichkeit haben die Folgen der Temperatur-Einflüsse bei den isolirten und den im Gesammtorganismus noch enthaltenen Nerven. Grössere anfängliche Erregtheit in der kühleren und mässig kalten Luft, zunehmende Abspannung und Schwäche, wenn die Kälte länger einwirkt und tiefer sinkt. Bei hoher Wärme Schwäche, Energielosigkeit. Bei den Temperaturwechseln von der normalen Mitte aus nach aufwärts sowohl als nach abwärts momentane Aufregung. Bei dem Wechsel von tieferen Kältegraden mit der mittleren Temperatur: anfängliche Abspannung, dann wachsende ·Erregung — alles das sind Erscheinungen, welche wir an uns selbst empfinden, so wie wir sie an den isolirten motorischen Nerven objectiv erkennbar und messbar ebenfalls nachweisen können. Mögen auch immerhin im Körper

des Lebenden noch mancherlei andere Processe mit im Spiele sein: sicher darf Vieles von dem an ihm zu Beobachtenden als eine direkte Einwirkung dieser Einflüsse auf die Nerven selbst betrachtet werden.

Man würde aber freilich zu weit gehen und die Verhältnisse nur einseitig auffassen, wollte man mit Aufzählung dieser mechanischen Wirkungen allein schon das für erschöpft halten, was bei dem Einfluss solcher Reize von einer Erklärung verlangt wird. Denn es lassen sich am Nerv unmittelbar noch sehr wesentliche Veränderungen nachweisen, welche im Zusammenhang mit den Reizversuchen beweisen, dass tief eingreifende Molekularbewegungen in den wirksamen und wesentlichen Nervenelementen dadurch hervorgerufen werden.

Hierüber will ich nun zunächst nur so weit meine eigenen Erfahrungen geführt haben, berichten.

Es sei gestattet, für diejenigen Leser, welche vielleicht unserem Thema überhaupt ferner stehen, einige Bemerkungen vorauszuschicken, um sie mit den von Anderen gemachten Resultaten bekannt zu machen, in so weit ich auf diesen selbst wieder fortgebaut habe.

Du Bois-Reymond's Forschungen haben uns eine grosse Gesetzmässigkeit in den elektrischen Strömen kennen gelehrt, welche man von den Nerven ableiten kann, und deren Ursprung in elektromotorischen, den Nervenmolekülen innewohnenden Kräften zu suchen ist.

Die Gesetzmässigkeit liegt darin, dass die Ströme je nach bestimmten Zuständen, in welchen sich gerade die Nerven befinden, ihre Richtung bewahren. So zeigt sich an dem frisch präparirten, nicht erregten Nerv ein Strom, welcher anzeigt, dass sich sein Querschnitt negativ gegen die positive Oberfläche des Nerven verhält. Mit dem Tod verschwindet allmählich dieser Strom oder schlägt kurz vorher in die entgegengesetzte Richtung um. Unter dem Einfluss eines constanten elektrischen Stromes, welcher durch eine Nervenstrecke gesendet wird, ändert sich diesseits und jenseits dieser Strecke der Nervenstrom indem er auf der einen Seite stärker, auf der anderen schwächer wird. (Elektrotonus.) Gehen schnell unterbrochene Ströme abwechselnd in entgegengesetzter Richtung durch eine solche Nervenstrecke, so nimmt der ursprüngliche, den Nerven eigene Strom an Intensität ab (negative Stromschwankung). Du Bois hat diese Erscheinungen unter dem Bild einer Molekulartheorie zusammengefasst, nach welcher die einzelnen Moleküle richtend auf einander wirken, vergleichbar einem System kleiner Magnete. Ist der Nerv in seinem normalen Zustand und nicht

erregt, so bleiben diese Elemente von den ihnen innwohnenden Kräften gleichsam gebannt, in einem bestimmten gegenseitigen Lagerungsverhältniss. Wirken auf den Nerven gewisse äussere Erregungsmittel, so wird je nach deren Stärke jenes Lagerungsverhältniss geändert, weil das ursprüngliche Gleichgewicht der Kräfte eine Störung erleidet. Mit dem Eintritt des Todes der Nerven erlöschen diese Kräfte, und so kam es, dass man entweder vorsichtig die elektrischen Erscheinungen als Vorgänge betrachtete, welche parallel neben den Lebensanstrengungen der Nerven einhergehen, oder ohne Weiteres die leteteren mit jenen direkt identificirte. Unbestritten bleibt, dass wir in dem elektrischen Verhalten der Nerven einen sehr willkommenen Anzeiger für Zustandsänderungen seiner wesentlichen Elemente gewonnen haben, über deren Eintritt wir ausserdem vollkommen ohne Kenntniss geblieben sein würden.

Wenn immer an einem nicht durch äussere elektrische Ströme erregten Nerven Richtungsveränderungen seines ursprünglichen, ihm eigenen Stromes angetroffen werden, dürfen wir voraussetzen, dass die innerste Molekularanordnung desselben geändert ist, und können, wenn auch unbekannt mit dem innersten Wesen seines Zustandes, doch den Wechsel desselben an ihm selbst erkennen, was ausserdem weniger zweifellos nur an der Rückwirkung dieses Wechsels auf die mit dem Nerven verbundenen Organe erkannt werden konnte.

Dadurch allein schon gewinnen, ganz abgesehen von allen weiteren theoretischen Folgerungen, die Beobachtungen einen Werth, welche zeigen, dass sich in Folge gewisser äusserer Einflüsse die Richtung des ursprünglichen Nervenstromes ändert und mit dem Verschwinden derselben sich wieder herstellt etc.

Ich habe dieses Verhalten der Nerven an dem grossen Multiplicator unseres Instituts, welcher nach Du Bois' Vorschriften in Berlin gebaut worden war, geprüft, und zwar wenn die Nerven der partiellen Vertrocknung, höheren und niedrigeren Temperaturen ausgesetzt worden waren. Nehmen wir an, die Ablenkung der Doppelnadel durch den Strom des frischen, nicht erregten Nerven sei in Folge der Anordnung des Versuches östlich gewesen, so war sie in die westliche Ablenkung bereits umgeschlagen, als der Nerv so viel Wasser verloren hatte, dass eben die Muskulatur in Krämpfe zu verfallen begann. Liess man hierauf den Nerven kurze Zeit im Wasser liegen, so fand man dadurch wieder die ursprüngliche Richtung des Stromes hergestellt.

In ähnlicher Weise sah man die Nadel anfänglich die Nulllinie

niedrigt werden muss, als wenn jene Strecke schon ganz abgestorben wäre. Daraus folgt, dass von hier aus auf die noch mehr reizbare Stelle eine Wirkung ausgeübt wird, welche deren Erregbarkeit hemmt, also eine Kraft, welche den Einfluss eines galvanischen Reizes verringert, ja in einzelnen Fällen fast ganz vernichtet, obwohl ihm das zweite Stück an sich noch in hohem Grade zugänglich ist.

Die Ergebnisse meiner sehr grossen Versuchsreihe über diesen Gegenstand habe ich im folgenden allgemeinen Satz zusammenfassen zu dürfen geglaubt: „Die Nerven sind nicht einfache Leitungswege für einen in den Centralorganen wirksamen Apparat, aus welchem sie im Leben ihre Kräfte schöpfen, um sie nach der Trennung von ihnen gleichsam als Vermächtniss noch einige Zeit zu bewahren, sondern es sind selbstständige complicirte Apparate mit verschiedenen aufeinander wirkenden Kräften, deren Auslösungen nach der Trennung von den Centralorganen einem zufälligen Spiel von Anregungen, im lebenden Thier aber den regulatorischen Impulsen der Centra folgen. Die Centralorgane erscheinen somit als solche, welche die im getrennten Nerven vorhandenen und nach zwei extremen Richtungen in Beziehung auf Leistung tendirenden Kräfte in ihren für die Gesammtthätigkeit des unverletzten Nervensystems nothwendigen Schranken halten, Die Nothwendigkeit einer hemmenden Wirkung und damit einer regulatorischen Thätigkeit gegenüber den freien Kräften der Nerven: das ist eine wesentliche Aufgabe, welche die Centralorgane zu lösen haben." Dieser Satz, welchen ich auf Grund meiner Untersuchungen über den Einfluss der Länge eines gereizten Nervenstückes aufgestellt habe, gewinnt weitere Stützen an meinen Beobachtungen über den Einfluss der Centralorgane auf die jeweilige Reizbarkeit des gemischten peripherischen Nervenstammes, und über die Wege, auf welchen sich jener Einfluss zum Muskelpräparat fortpflanzt.

Die Resultate dieser Reihe von Versuchen will ich jetzt in der Kürze mittheilen.

Die Versuche verlangten besondere Methoden zur Befestigung des lebenden Thieres, und zur Application der stromzuführenden Drähte an den Nerven zwischen der Schenkelmuskulatur, wodurch garantirt sein musste, dass der Reiz auf die gleiche Nervenstrecke während der ganzen Versuchsdauer beschränkt blieb, dass sich an dem Wassergehalt des Nerven nichts änderte, dass in dem Schenkel selbst, so lange man wollte, die Blutcirculation fortbestand. Erst nach geraumer Zeit

war es möglich, der Schwierigkeiten Herr zu werden, welche sich der Erfüllung dieser Bedingung entgegenstellten.

War das Thier auf die gehörige Weise befestigt, so wurde die Reizbarkeit des Schenkelnerven auf die gehörige Weise geprüft, dann wurden Stück für Stück durch scharfe Schnitte die Centralorgane durchschnitten. Es zeigte sich, dass zeitlich zweierlei Folgen auseinander zu halten sind: die Wirkung der Durchschneidung als mechanischer Eingriff und die Folge der Entfernung eines centralen Theiles. Die Durchschneidung als solche bewirkt eine momentane Verminderung der vorherigen Reizbarkeit; sie steigt aber darauf wieder in Folge der Entfernung des centralen Theiles und zwar um so höher, je mehr durch den Schnitt von den Centralorganen war entfernt worden.

Durchschneidet man dagegen das Nervengeflecht im Becken oder den daraus hervorgehenden Stamm des Schenkelnerven an einem Punkt oberhalb der gereizten Strecke, so wird in Folge der Durchschneidung die Reizbarkeit momentan erhöht; diese Steigerung ist im Allgemeinen um so beträchtlicher, je näher der Schnitt dem Ort der Reizung geführt wurde.

Der gemischte Nervenstanmm verdankt also den Grad seiner jeweiligen Reizbarkeit jedenfalls zum Theil dem Einfluss der Centralorgane und es wird sich dieser Grad auch im Leben mit den Zuständen derselben ändern müssen, wie man auch in den Experimenten sieht, in welchen man die mechanische Entfernung der Centra durch deren partielle oder totale Narkotisirung ersetzt hat. Am entschiedensten tritt dabei der hemmende Einfluss hervor, welchen die Centra äussern und welcher die Reizbarkeit des Nerven, so lange er noch mit ihnen im Zusammenhang steht, geringer erscheinen lässt.

Die Wege, auf welchen zu dem Muskelpräparat schliesslich dieser, wie überhaupt irgend ein Einfluss von den Centralorganen aus fortgeleitet werden kann, sind zweierlei: Die vorderen und die hinteren Rückenmarkswurzeln. Hat man alle vorderen Wurzeln durchschnitten, und nur die hinteren stehen gelassen, so zeigt sich, dass die successive Abtragung der Centralorgane auch jetzt noch von Veränderung der Reizbarkeit des gemischten Nervenstammes begleitet ist. Längs des Weges der hinteren Wurzeln wirkt also der Einfluss der Centra nach abwärts gegen das Muskelpräparat hin fort. Von dieser allgemeinen Erfahrung ausgehend, wurde sofort untersucht, welcher Natur der Einfluss sei, der sich auf diesem Weg fortpflanzt und wie er sich von dem unterscheidet, welcher längs der Bahn vorderer Wur-

über oder darunter gelegenen Punkten. So wie der Nerv durchschnitten worden ist, sieht man, besonders in der Nähe der Schnittstelle, bald darauf die Reizbarkeit gegenüber den näher an der Muskulatur gelegenen Stellen schwächer werden, hier auch am frühesten verschwinden; denn der motorische Nerv stirbt von seinem centralen gegen das peripherische Ende hin allmählig ab. Die Durchschneidung selbst ruft wie eine Menge anderer Reize, welche momentan auf den Nerven gewirkt haben, eine mehr allmählig abklingende Nachwirkung hervor, die auf den darauf folgenden Reizversuch von Einfluss ist. Ausserdem sieht man daraus, wie gross die Unterschiede in den Erfolgen der Reizung sein müssen, je nachdem die Schnittfläche näher oder entfernter von der gereizten Stelle liegt.

Eine weitere Thatsache, welche dazu aufforderte, bei allen vergleichenden Versuchen auch die Länge des gereizten Nervenstückes gleich zu erhalten, ist die, dass sich die Erfolge der Reizung sehr wesentlich mit der Länge des eingeschalteten Nervenstückes ändern. Das Studium des Einflusses, welchen diese Länge ausübt, schien anfänglich rasch zu bestimmten Resultaten führen zu können; allein im Verlauf der Untersuchung fand sich, dass ich nicht leicht einer der hier einschlagenden Fragen mehr Thiere opfern musste, als gerade dieser. Dabei hat sich aber auf das Unzweideutigste zeigen lassen, dass die Nerven nicht einfache Leitungsapparate sind, so dass man ihre Function mit der unserer telegraphischen Drähte vergleichen dürfte, sondern dass in ihnen verwickeltere Anordnungen zu suchen sind, in Folge deren die einzelnen Querschnitte in höchst auffallender Weise gegenseitig auf einander einwirken.

Untersucht man den Erfolg der Reizung zuerst je an einem von zwei hinter einander liegenden Nervenstücken von geringer Länge, und dann den Erfolg, wenn man den Strom durch die beiden Stücke gleichzeitig schickt, so giebt meine Methode die Mittel an die Hand, mit Leichtigkeit zu bestimmen, ob die Summe der Erfolge im ersten Fall gleich dem Erfolg im letzten Fall ist oder nicht. Die Apparate, deren ich mich zur Zuführung des Stromes zu den einzelnen Nervenstellen bediene, gestatten ohne irgend welche Verschiebung der Elektroden bald grössere bald kleinere Nervenstrecken für sich zu reizen, diese beliebig mit einander zu einer gemeinsamen Strombahn zu verbinden, und dieses sowohl für nahe beisammen liegende, als auch für sehr weit von einander entfernte Nervenstrecken ins Werk zu setzen, ausserdem die Versuche sehr schnell wiederholen und damit erfahren zu

können, wie sich die Verhältnisse im Lauf der Zeiten verändern. Um alle Versuche unter einander zu vergleichen, bin ich von der zunächst willkührlichen Annahme ausgegangen, dass zur Erzielung des gleichen Erfolges (Minimalwerth der Muskelzuckung) bei stets gleicher Geschwindigkeit des Stromwechsels das Mittel aus den Stromdichten bei successiver Reizung zweier Nervenstrecken gleich sei der Stromdichte bei Reizung der Combination beider. Fände diess statt, so würde unter der willkührlichen Voraussetzung, dass der Einfluss der Länge in Form einer so einfachen Function aufträte, damit ausgesprochen sein, dass die Einschaltung eines zweiten Nervenstückes zum ersten wirkungslos wäre. Findet man dagegen für die Combination eine Stromdichte, welche geringer ist als jenes Mittel, so würde diess eine entsprechende Begünstigung des Erfolges durch jene Einschaltung andeuten, im entgegengesetzten Fall aber eine Hemmung.

Es zeigte sich, dass der Werth der Combination bei dem im Organismus noch befindlichen Nerven lange Zeit ganz gleich bleibt und beiläufig $1/2$mal günstiger wirkt, als die Reizung je eines einzelnen Stückes von beiläufig 5 Millimeter Länge. Wird der Nerv von seinem Centralorgan getrennt, so bemerkt man anfänglich immer noch, dass der Erfolg wächst mit der Länge der eingeschalteten Nervenstrecke, allein alsbald beginnt ein Wogen in dem Werth dieser Combination, über dessen Natur im Allgemeinen man sich nun aus sehr grossen Versuchsreihen ein Bild entwerfen kann. Man sieht, dass von dem Moment der Durchschneidung des Nerven an gerechnet, der Erfolg bei der Reizung der Combination eine Steigerung erfährt, dann eine längere Zeit auf dieser Höhe verweilt, um von da ab mit bald grösserer, bald geringerer Geschwindigkeit zu sinken. In dem letzten Stadium wirkt die Combination eines Stückes mit einem näher dem Muskel gelegenen günstiger als mit einem dem Centrum näheren. Im ersten Stadium ist gerade das Umgekehrte der Fall.

Wenn man weit auseinanderliegende Nervenstrecken mit einander combinirt, so stösst man häufig zu der Zeit, in welcher die Reizbarkeit in dem einen Stück schon sehr gesunken ist, auf eine eigenthümliche Erscheinung. Ist das eine Nervenstück vollkommen abgestorben, so kann es natürlich nur als todter Leitungswiderstand wirken, um dessen Werth der Rheostatenstand zur Erzielung des gleichen Effektes bei der Combination dieses Stückes mit einem zweiten erniedrigt werden muss. Nun ereignet es sich aber häufig, dass kurz vor dem Tod jener einen Nervenstrecke der Rheostatenstand um sehr viel mehr er-

einhalten, d. h. es war gar kein Strom mehr nachweisbar, dann aber (nach 4—5 Minuten) nach der westlichen Richtung abgelenkt werden, wenn man den Nerven der feuchten Wärme von ca. 31 ⁰ R. ausgesetzt hatte. Brachte man dann den Nerven zurück in die feuchte Luft von 14—15⁰ R., so stellte sich nach kurzer Zeit, wenn der Nerv nicht allzu rasch abstarb, der ursprüngliche Strom, wenn auch geschwächt, wieder her.

Obwohl wir damit nur die Gewissheit von einer tiefgreifenden Zustandsänderung des Nerven in seinen wesentlichen Elementen erlangt haben, ohne dass damit schon eine vollkommene Kenntniss von deren Natur unmittelbar erreicht worden wäre, so sehen wir doch damit wenigstens Hand in Hand gehend anderweitige Veränderungen, welche die Erfolge der Reizung des Nerven darbieten, so lange er noch mit seiner Muskulatur in natürlichem Zusammenhang steht. Es ist nämlich für den Erfolg der Reizung nicht gleichgültig, ob der unterbrochene elektrische Strom, mit welchem man reizt, den Nerven in auf- oder absteigender Richtung durchfliesst. Tritt der Strom näher dem Rückenmark ein und näher dem Muskelende des Nerven aus, so bezeichnet man diess als „absteigende“, im umgekehrten Fall als „aufsteigende Richtung.“ Es hat sich jetzt in Uebereinstimmung mit den Erfahrungen Anderer durch meine Versuche herausgestellt, dass bei frischen oder mit dem Organismus des lebenden Thieres noch im Zusammenhang befindlichen Nerven die schwächsten Ströme Zuckungen erzeugen in dem Moment, in welchem die Kette durch den Nerven geschlossen wird (Schliessungszuckung). Es bleibt dabei gleichgültig, ob die Stromrichtung auf- oder absteigend ist. Dieses Gesetz büsst seine Geltung am frühesten ein, wenn der Nerv durchschnitten und die Reizung nahe der Schnittstelle vorgenommen worden ist. Hier schlägt nämlich sehr bald die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes in Schliessungs- und Oeffnungszuckung, endlich in ausschliessliche Oeffnungszuckung um. Bei dem absteigenden Strom kommt dazwischen Oeffnungs- und Schliessungszuckung, endlich wieder nur Schliessungszuckung zu Stande. Kurz vor dem Absterben geht auch dabei die Schliessungszuckung in Oeffnungszuckung über.

Wenn man den Nerven der Vertrocknung überlässt, so beobachtet man zu jener Zeit, in welcher die Reizbarkeit ihrem Culminationspunkt zueilt, dass die Schliessungszuckung, welche bis dahin bei Reizung mit aufsteigenden Strömen eingetreten war, der Oeffnungszuckung Platz macht; dasselbe erfolgt, wenn der Nerv sich in feuchter Luft

von ca. 30⁰ R. befindet, nach wenigen Minuten. Die ursprüngliche Zuckungsform kehrt in der mittleren Temperatur (von 15—16⁰ R.) in kurzer Zeit zurück. Diese Thatsachen beweisen, dass die entgegengesetzten Erregbarkeitsgrade die gleichen Zuckungsformen zulasen dass also die Zuckungsform an sich nicht als Maasstab für den Erregbarkeitsgrad gelten kann. So weit man aus diesen Fällen allein schliessen darf, lässt sich behaupten, dass die inneren Molekularwirkungen, insoferne sie sich nach aussen durch ihren Einfluss auf die Nadel des Galvanometer bemerklich machen, mit der Natur der Zukkungsform im nächsten Zusammenhang stehen. Es lässt sich hieraus ein Gesetz formuliren, welches lautet: „Bei derjenigen Richtung des Stromes ruhender Nerven, bei welcher sich der Querschnitt negativ gegen die Oberfläche verhält, geben die schwächsten, den Nerven in aufsteigender Richtung durchfliessenden, unterbrochenen galvanischen Ströme Schliessungszuckung; gleichzeitig oder sehr nahe dem Zeitpunkt, im welchem sich die Richtung des Nervenstromes umkehrt, schlägt für jene Ströme, mit welchen gereizt wird, die Schliessungszuckung in die Oeffnungszuckung um, und aller Wahrscheinlichkeit nach fällt der Zeitpunkt, in welchem dazwischen der Nervenstrom ganz verschwunden war, in das Auftreten der Oeffnungs- und Schliessungszuckung, während endlich bei Rückkehr des Nervenstromes in die alte Richtung auch die ursprüngliche Zuckungsform eintritt.“

Es war in allen den Fällen, in welchen es sich darum handelte, die Folgen äusserer Einflüsse auf den Nerven an den Aenderungen zu prüfen, welche dadurch die Reizbarkeit erfährt, die Applicationsstelle des elektrischen Reizes unveränderlich die gleiche geblieben. Diese Vorsichtsmaassregel war physikalischer Gründe wegen und auch dadurch geboten, weil man schon früher darauf aufmerksam geworden war, dass die Reizbarkeit des Nerven nicht an allen Punkten seines Verlaufes die gleiche ist.

Ich hatte schon vor 13 Jahren darauf aufmerksam gemacht, dass bei frischen Nerven die dem Centralorgan näher gelegene Stelle reizbarer erscheint, als die weiter davon entfernten. Ich habe sehr ausgedehnte Versuchsreihen hierüber auch in jüngster Zeit wieder ängestellt und diess Gesetz im Allgemeinen bestätigt gefunden; nur lässt sich nicht behaupten, dass strikte von Querschnitt zu Querschnitt nach aufwärts gegen die Centralorgane hin die Reizbarkeit immer grösser und grösser werde, sondern dazwischen liegen immer wieder Stellen an welchen die Reizbarkeit schwächer ist, als an den unmittelbar dar-

zelfasern zum Muskelpräparat gelangt. Dabei fand sich erstens, dass in Folge der Durchschneidung der hinteren Wurzeln die Reizbarkeit des Nervenstammes sinkt und damit zugleich auch überhaupt die Leichtigkeit, Zuckungen durch die Reizung auszulösen, geringer wird. Beides lässt sich dadurch corrigiren, dass man die durchschnittenen hinteren Wurzeln chemisch reizt. Zweitens wurde beobachtet, dass die Reizbarkeit des gemischten Stammes steigt, wenn die vorderen Wurzeln durchschnitten werden.

Daraus folgt nun schliesslich, dass es im unversehrten Organismus zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte gibt, welche von den Centralorganen aus längs der Bahnen von Fasern vorderer und hinterer Rückenmarkswurzeln auf das Muskelpräparat wirken, um den Grad der Leichtigkeit zu bestimmen, mit welchem ein den gemischten Nervenstamm treffender Reiz das Gleichgewicht der Kräfte zu stören im Stande ist, welches herrscht, so lange der Muskel in Ruhe ist.

Erschwert wird diese Störung durch diejenige Kraft, welche sich längs der vorderen Wurzeln fortpflanzt, erleichtert durch eine solche, welche längs der hinteren Wurzeln fortwirkt.

Diese Thatsachen geben im Zusammenhang mit dem, was wir über den Einfluss der Länge eines gereizten Nervenstückes in Erfahrung gebracht haben, eine Vorstellung von dem Spiel der Kräfte, aus welchen die Thätigkeitsäusserung des Nerven zuletzt resultirt. Die normale Function eines Theiles des lebendigen Körpers besteht in einem, in bestimmten Grenzen gehaltenen Maass von Kraftentwicklung. Sieht man, dass in den Centralorganen besondere Vorkehrungen getroffen sind, in Folge deren zwei entgegengesetzt gerichtete Kraftwirkungen ausgehen, so muss in dem Nerv-Muskelpräparat ebenfalls ein Kräftepaar vorhanden sein, welches in ähnlicher Weise in entgegengesetzter Richtung wirkt. Findet man dann unzweideutige Beweise dafür, dass solche entgegengesetzt gerichteten Kräfte in dem Nerven für sich herrschen, so sieht man leicht ein, wie die normale Function eines Nerven erst aus der Zusammenwirkung der einzelnen kleinsten Nervenstücke und der Centralorgane resultiren kann.

Man darf sich darnach vorstellen: In jedem kleinsten Nervenstück, in jedem Querschnitt wirken entgegengesetzt gerichtete Kräfte auf einander, deren Gleichgewicht bald zu Gunsten der einen, bald zu Gunsten der anderen in Folge der verschiedensten Ursachen gestört sein kann. Die resultirende Wirkung dieses Conflictes wirkt mitbestimmend auf die im nächsten kleinsten Abschnitt und so fort

durch die ganze Länge des Nerven. Das Endresultat aller dieser einzelnen Gegenwirkungen im peripherischen Nerven wird aber selbst wieder in Abhängigkeit gebracht von den entgegengesetzt gerichteten Kräften, welche sich von den Centralorganen ausgehend auf das complicirte Nerv-Muskelpräparat ausdehnen. Sobald dieser regulatorische Einfluss wegfällt, d. h. sobald der Nerv durchschnitten wird, tritt die Wirkung des zufälligen Spieles von Anregungen auf, welche den Nerven treffen, und es beginnt ein Wechsel der Reizbarkeit, welcher als nachtheilig für die Function des unversehrten Nerven von ihm ferne gehalten wird, eben durch die regulatorischen Wirkungen der Centralorgane.

Damit habe ich den ersten Kreis meiner Untersuchungen geschlossen, welche zunächst nur Zweierlei anzubahnen hatten: einen Weg, den galvanischen Grundversuch für vergleichende Untersuchungen messbar zu machen und sich im Allgemeinen weitere Kenntnisse von der Function der einzelnen Nervenbestandtheile und den Wirkungen zu erwerben, welche die Abänderung der sogenannten Lebensreize hervorrufen. Jeden einzelnen Punkt habe ich vorläufig nur bis zu einer gewissen Grenze hin verfolgt, nehmlich nur so weit, bis sich dessen Einfluss auf die Maassbestimmungen an sich übersehen liess. Denn alle die einzelnen Fragen über Wasserverlust oder Quellung, Druck oder Erwärmung und Erkältung wurden nicht um ihres eigenen Interesses willen in Angriff genommen, sondern nur desshalb, um die Grenzen der Fehler und das Gebiet der Vorsichtsmaassregeln abzustecken, welches für die allein im Auge behaltene Maassbestimmung zu kennen nothwendig erscheinen musste.

Verzeichniss meiner Abhandlungen,

in welchen für das Voranstehende die näheren Aufschlüsse zu finden sind.

„Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz, I. Abhandlung"; in den Abhandlungen der mathemat. physik. Classe der kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaften. Bd. XXXI, pag. 313.

II. Abhandlung; ibid. pag. 529.

III. und IV. Abhandlung erscheint im XXXII. Bd. (im Druck).

„Ueber Maassbestimmungen der Nervenreizbarkeit"; in den Münchner Gelehrten Anzeigen, 1858, Bulletin vom 27. December.

„Ueber Apparate zu neurophysiologischen Untersuchungen"; ibid. 1857, Bulletin vom 10. und 13. März.

„Ueber den Einfluss der feuchten Wärme auf die Nerven und über die sogenannten Modi der Erregbarkeit"; ibid. 1859; Bulletin vom 28. März.

„Ueber Muskelzuckungen bei dem Vertrocknen der Nerven"; ibid. Bulletin vom 16. März 1859.

„Ueber den Einfluss der Länge eines gereizten Nervenstückes"; ibid. Bulletin vom 3. Sept. 1859.

„Ueber Lebens-Reize der Nerven", im bayr. ärztlichen Intelligenzblatt vom 23. April 1859.

„Ueber physiologische Vermittlungswege paralytischer und paretischer Erscheinungen"; ibid. vom 27. März 1858.

„Ueber die sogenannten Modi der Nerven-Erregbarkeit"; ibid. vom 16. Febr. 1859.

„Ueber die Bedeutsamkeit der Nervenhüllen"; in Henle und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medizin von 1858.

„Ueber Muskelzuckungen bei Nerven-Vertrocknung"; ibid. 1859.

„Ueber den Einfluss der Temperaturen und Temperatur-Schwankungen auf die motorischen Nerven"; ibid. 1859.

Dr. E. Harless.

[*From the* PROCEEDINGS *of the* ROYAL SOCIETY *for* April 19, 1860.]

CROONIAN LECTURE.

ON THE

ARRANGEMENT OF THE MUSCULAR FIBRES OF THE VENTRICULAR PORTION OF THE HEART OF THE MAMMAL.

BY JAMES PETTIGREW, ESQ.

THE Lecturer began by referring to the descriptions of the arrangement of the ventricular fibres of the heart given by previous inquirers, more especially Lower, Senac, Wolff, Gerdy, Duncan, and Reid; he then proceeded to give an account of the results of his own investigations, which had been conducted on the hearts of the Sheep, Calf, Deer, Ox, Horse, &c.; all of which, he observed, bear a perfect resemblance to the human heart*. In order, as much as possible, to overcome the difficulties of the subject, he availed himself of drawings, explanatory diagrams, and models illustrating the course and relation of the fibres. To these last, however, he observed he attached no special importance, further than that they were useful vehicles of communication; and it was to the dissections themselves, some of which were before the Society, that he looked for a corroboration of the statements he advanced.

* Mr. Pettigrew's researches include also the arrangement of the fibres in the ventricles of the Bird, Reptile, and Fish.

Commencing with the left ventricle, which he believes to be the typical one, the Lecturer stated that, by exercising a little care, he had been enabled to unwind as it were its muscular substance, and so to separate its walls into several layers*, each of which is characterized by a difference in direction. Seven layers, at least, can be readily shown by dissection; but he believes they are in reality nine; viz. four external, the fifth or central, and four internal. He explained how the external fibres are continuous with the internal fibres at the apex, as was known to Lower†, Gerdy‡, and others, and how the fibres constituting the several external layers are continuous with corresponding internal layers likewise at the base§,—a fact to which the Lecturer drew particular attention, as being contrary to the generally received opinion, which is to the effect that the fibres at the base are non-continuous, and arise from the auriculo-ventricular tendinous rings—which, as he showed by numerous dissections, is not the case.

Coming next to the question of the direction of the fibres, he showed how there is a gradational sequence in the direction of the fibres constituting the several layers. Thus the fibres of the first layer are more vertical in direction than those of the second, the second than those of the third, the third than those of the fourth, and the fourth than those of the fifth, the fibres constituting which layer are transverse, and run at nearly right angles to those of the first layer. Passing the fifth layer, which occupies the centre of the ventricular wall and forms the boundary between the external and internal layers, the order of things is reversed; and the remaining layers, viz. six, seven, eight, and nine, gradually return to the vertical in an opposite direction, and in an inverse order. This re-

* Senac (Traité de la Structure du Cœur, &c. [Paris, 1749], planche 8) figures four layers; and Searle (Cyc. of Anat. and Phys., art. "Heart") speaks of three.

† Tractatus de Corde, &c. London, 1669.

‡ Recherches, Discussions et Propositions d'Anatomie, Physiologie, &c. Paris, 1823.

§ The late Dr. Duncan, Jun., of Edinburgh, was aware of the fibres forming loops at the base, but seems to have had no knowledge of the continuity being occasioned by the union of corresponding *external* and *internal* layers, or that these basal loops were prolongations of like loops formed by similar corresponding external and internal layers at the apex—a point which the Lecturer believes he is the first to establish.

markablc chauge in the direction of the external and internal fibres, whieh had in part been figured by Senae, and imperfeetly deseribed by Reid *, as well as other detaehed and important faets aseertained by himself and others—sueh as the eontinuity of the fibres at the apex and base, already adverted to—he suggested might be aeeounted for by the law of the double eonieal spiral, which he proeeeded forthwith to explain.

The expression of the law, as he eoneeives it, with referenee to the arrangement of the fibres in the ventriele, is briefly the following. By a simple proeess of *in*volution and *e*volution, the external fibres beeome *internal* at the apex, and *external* again at the base; so that whether the fibres be traeed from without inwards, or from within outwards, they always return to points not wide apart from those from whenee they started. In order to illustrate the prineiple of the double eonieal spiral in the above sense, he took a sheet of net, through whieh parallel threads of eoloured wool, representing the individual fibres, were drawn at intervals; and laying it out on the table before him, with the threads plaeed horizontally, seized it by the right-hand off eorner, and rolled it in upon itself (*i. e.* towards his own body) seven turns, so as to produee a eone whose walls eonsisted of nine layers†. On gradually unwinding the walls of the eone thus fashioned (whieh is tantamount to undoing the spirals), so as to imitate the removal of conseeutive layers from the walls of the ventriele, he finds that the gradation in the direetion of the several layers just speeified is distinetly marked; and that these layers, as was exhibited in various dissections, find a eounterpart in the ventriele itself. Thus (the heart being supposed to be plaeed upright on its apex) in the first external layer the threads are seen running from base to apex, and from left to right ‡, almost vertieally; in the seeond layer they are slightly oblique; this obliquity inereases in the third, and still more in the sueeeeding layer, till in the fifth or

* Cye. of Anat. and Phys., art. "Heart." London, 1839.

† A sheet of paper with parallel lines drawn upon it will answer the purpose equally well, exeept that its non-transpareney preeludes our seeing the external and internal spirals rolled the one within the other when the sheet is fashioned into a eone and held against the light, as the Leeturer reeommends. The sheets should be twiee as long as they are broad; and the lines or threads should run in the direction of the length.

‡ That is, in the direetion from the left hand to the right of the observer.

central one the direction of the threads becomes transverse. After passing the central layer, the direction of the threads (as of the fibres) is reversed; in the sixth layer they begin to turn from *right* to *left*, with a slight incliuation *upwards*; and in succeeding layers gradually become more and more vertical, until the innermost, or ninth, is reached, in which they become as vertical as in the first, but are curved in an opposite direction.

As a necessary consequence of this arrangement of the fibres, the Lecturer showed that when the layers are in apposition, as they exist in the undissected ventricle, the first external layer and the last internal cross each other with a slight deviation from the vertical, as in the letter X ; while in the succeeding external and internal layers, until the fifth or central one, which is transverse, is reached, they cross at successively wider vertical angles, as may be represented by an ⋈ placed horizontally.

Holding the cone, prepared as described, against the light, the Lecturer then showed how, by the rolling process, a double system of conical spirals, similar to those found in the left ventricle, had been produced—the one an external left-handed down system, running from base to apex, and corresponding with the external layers ; the other an internal right-handed up system, running from apex to base, and corresponding with the internal fibres ; and how, seeing the opposite systems are the result of different portions of the same threads being rolled in different directions (the one within the other), the spirals are consequently continuous at the apex.

He in this manner explained the continuity of the external and internal fibres at the apex. By simply producing the threads forming the internal spirals, and turning them out at the base until they met corresponding external spirals, he next showed how the continuity of the fibres at the base might be accounted for. The connexion of the fibres at the base, he remarked, is effected for the most part as at the apex, by continuity of their proper muscular substance ; but those of the papillary muscles are continued by the tendinous cords. This continuity observes a certain order, so that certain external layers are continued at the apex into certain internal layers, and turn outwards at the base into their original external position. Thus the first layer is continuous with the ninth, the second with the eighth, the third with the seventh, and the fourth with the

sixth, while the fifth occupies, as already said, the middle place between the four external and four internal. He thus endeavoured to prove that a strong analogy exists between the arrangement of the fibres at the apex and the base, and that the same principle which turns in the exterual fibres at the apex also turns out the internal at the base,—a view which, while it extends rather than militates against that of older writers, was strongly supported by the arguments he adduced. It would therefore seem that the fibres do not form simple loops pointing towards the apex, as generally supposed, but twisted continuous loops pointing alike to apex and base. From this arrangement, it follows that the first and niuth layers embrace iu their convolutions those immediately beneath them, while these in turn embrace those next in succession, and so on until the central layer is reached,—an arrangement which may in part explain alike the rolling movements and powerful action of the ventricles.

The Lecturer next drew attention to the manner in which the external fibres pass into the interior of the ventricle to form the musculi papillares. He first remarked that when the external fibres get into the iuterior they are necessarily confined to a smaller area, and are therefore crowded into a mass of greater thickness, which contributes to form the papillary muscles. He then showed that the external fibres, entering at the apex and forming the "vortex," pass inwards in two principal parcels or bundles, one of which comes chiefly from the posterior surface of the ventricle, aud winds forwards to enter the apex anteriorly, whilst another comes from the anterior surface, and winds backwards to enter the apex posteriorly, a fact which the Lecturer believes has been hitherto overlooked. On entering the cavity, the anterior bundle crosses to the posterior wall, aud forms the posterior papillary muscle, whilst the posterior bundle forms the anterior papillary muscle. The fact of this double entrance, and its relation to the papillary muscles, was shown in various preparations; and it was remarked that, but for this double entrance, which applies to all the external layers, the apex of the ventricle would be like the barrel of a pen cut slantingly, or, in fact, lopsided; whereas, by the arrangement described, it is rendered bilaterally symmetrical.

To bring this bilateral entrance and symmetry into harmony with the description already given of the succession of layers, and with

the illustration of the conically rolled sheet, the Lecturer explained that we must regard the primary sheet as having split into two, or we must suppose a second one superadded, and rolled up along with the first. In fact, if a second sheet of net with parallel threads be laid on the first, so that the threads upon it intersect those of the first at an acute angle, and the two are then rolled up together in the way already described, the result will be that the opening at the apex will have two symmetrical lips, as it were, representing the two parcels of fibres forming the vortex in the natural heart.

It is well known that the wall of the left ventricle is thickest at about a third of its length from the base, and that from this point it decreases in thickness towards the base, and still more towards the apex, which is its thinnest part. This condition may be explained by a certain modification of the preceding description,—by supposing, namely (what is really the fact), that the outermost and innermost layers extend further towards the apex and towards the base than those which come next, and these again further than those which succeed, and so on with the rest; the central one being of least extent, and confined indeed to about the middle third of the ventricle. In this way the ventricular wall is thickest towards its middle, where it is composed of all the layers, but becomes thinner and thinner towards the base and apex, where it consists of fewer and fewer layers.

Proceeding next to speak of the right ventricle, and especially of its relation to the left, the Lecturer observed that the simplest way to view that ventricle is to regard it as a segment of the left one; and this view he considers to be most in accordance with what we know of its structure and mode of development. For a short time after the heart appears in the embryo, its ventricular compartment is simple; but a septum soon begins to rise up within it, which proceeds from the right side of the apex and anterior wall of the cavity in the direction of the base, and is completed about the eighth week of intra-uterine life. For a time, moreover, the new-formed ventricles have equally thick walls; but as the full period is approached, the left, which is destined after birth to perform a larger amount of work, comes to predominate in thickness. Starting now from the left or "typical" ventricle, constituted as above described, the Lecturer showed that, by pushing in the anterior wall in imitation of

the constructive process in the embryo until it reaches the posterior wall, two ventricles are produced, with a partition or septum between. As, however, the septum in this case is double and unattached posteriorly, he said it was necessary, in order to complete the structure, to suppose the fibres forming the posterior border of the septal duplicature as coalescing or anastomosing with corresponding fibres of the posterior wall, whilst the fibres of the two halves of the duplicature itself are blended with each other. In this way, as he explained, there results a single septum connected posteriorly, and constituted in a manner which remarkably accords with the structure discovered by dissecting the adult heart. Thus, when both ventricles are dissected at the same time, the fibres forming the external layers posteriorly are found to be for the most part common to both; in other words, the fibres on the back part of the left ventricle cross over the posterior coronary tract, and pass on to the right ventricle; whereas, in front, with the exception of a large cross band at the base, the fibres of the right and of the left ventricle respectively dip inward at the anterior coronary tract, as if altogether independent of each other: an arrangement which induced Winslow to regard the heart as consisting of two muscles enveloped in a third. When, moreover, the so-called common fibres, posteriorly, are dissected layer by layer simultaneously with the independent anterior fibres, it is found that both pass through the same changes of direction; and the same rule holds good with the fibres of the septum.

Another possible mode of explaining the septum, as the Lecturer showed, is to regard the layers entering into the formation of the left ventricle as splitting up posteriorly, the one half of each layer winding round to form the right ventricle, and then dipping in front to form the right half of the septum, whilst the other half proceeds immediately forwards to form the left half of the septum.

Both ventricles thus appear to be formed on the same general plan, but they differ materially in the structure of their apices; and the question arises—which is the *primary* or *typical ventricle*? Now, while the fibres of the left ventricle enter its apex in a spiral manner by a species of involution similar to that which would be produced by rolling a sheet of muscle into a cone, those of the right ventricle simply bend or double on themselves. Moreover, as the Lecturer suggested, were we to split the septum into two, assigning to each ven-

tricle its proper share, and then apply the cut ends of the common fibres (which cross from the left to the right ventricle posteriorly) to their corresponding fibres in the left half of the septum, we should find that we had still a perfect whole—in other words, a complete system of external and internal spirals; whereas the fibres of the right ventricle and its half of the septum, treated in the same way, would represent only a part of a more complete system—a portion nipped off, as it were, from the side of the perfect cone. Accordingly, if we would dissect the left ventricle, and especially its apex, symmetrically, we must detach the right ventricle as if it were of no account, and dissect layer after layer of the septum *pari passu* with the layers of the left ventricular wall generally; on the other hand, the right ventricle can be dissected only in connexion with the left.

For these reasons the Lecturer is inclined to regard the left ventricle as the typical one, and the right as a mere segment thereof; and in further corroboration of this opinion, he referred to the shape of the right and left ventricular cavities, as shown by casts of their interior. The left always yields a beautifully finished and perfect right-handed conical screw, while the cast of the right ventricle, although it has the same twist, represents only an incomplete portion. This statement was illustrated by a wax-cast of the ventricles of the heart of a deer.

In conclusion, the Lecturer remarkēd that the arrangement of the fibres composing the ventricles of the mammalian heart, as he had endeavoured to expose it, is characterized by comparative simplicity, and harmonizes perfectly with what is known of the heart's movements.

[The matters touched on by the Lecturer are more fully treated of, and the descriptions copiously illustrated by figures, in his Paper entitled "On the Arrangement of the Muscular Fibres of the Ventricular Portion of the Vertebrate Heart." By JAMES PETTIGREW, Esq. Communicated by JOHN GOODSIR, Esq., Professor of Anatomy in the University of Edinburgh. Received Nov. 22, 1859.]